

COMUNE DI CASALECCHIO DI RENO
PROVINCIA DI BOLOGNA

PROGETTO DI TRASFORMAZIONE URBANISTICA
ALLEGATO ALL'ACCORDO DI PROGRAMMA
PER IL POLO FUNZIONALE DI ZONA B

PROPONENTE: REAL STATION S.r.l.

PROGETTISTA:

L'ASSESSORE

Dott. Nicola Bersanetti

IL SINDACO

Sig. Simone GAMBERINI

IL SEGRETARIO GENERALE

Dott.ssa Raffaella GALLIANI

IL DIRIGENTE

Arch. Vittorio BIANCHI

TAVOLA	ACCORDO TERRITORIALE	PROGETTO	DATA
I	STUDIO GEOLOGICO – TECNICO		GIUGNO 2011
SCALA			AGGIORNAMENTO
			NOVEMBRE 2011

GEO-PROBE

2011.102/RG

Comune di Casalecchio di Reno (BO)

STUDIO GEOLOGICO-TECNICO DEI TERRENI DEL
PRIMO SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA IN VIA
FAUSTO COPPI, PER LA QUALE È IN PROGETTO
UNA VARIANTE IN PIANO.

Agosto 2011



STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO

INDICE

1. PREMESSA.....	1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE	4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA	5
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI.....	9
6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO.....	11
7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE.....	12
8. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	16
9. MODELLAZIONE SISMICA	18
9.1. Vita nominale	18
9.2. Classi d'uso.....	18
9.3. Periodo di riferimento.....	19
9.4. Azione sismica	19
9.5. Categoria di sottosuolo.....	20
9.6. Condizioni topografiche.....	21
9.7. Amplificazione stratigrafica.....	22
9.8. Accelerazione massima al sito	22
9.9. Coefficiente sismico orizzontale e verticale.....	23
10. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	24
10.1. Selezione del moto di riferimento	24
10.2. Elaborazione del modello sismico.....	26
10.3. Elaborazione dell'amplificazione	30
11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	35
12. CONSIDERAZIONI FINALI	38

ALLEGATI:

- certificati penetrometrie statiche;
- diagrammi penetrometrie statiche;
- stratigrafia carotaggio continuo;
- indagine sismica;
- classificazione orientativa dei terreni attraversati
(Schmertmann, 1978);
- verifica rischio di liquefazione.

* * *

1. PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dalla Seci Real Station S.r.l., si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area sulla quale è in progetto l'inserimento in piano.

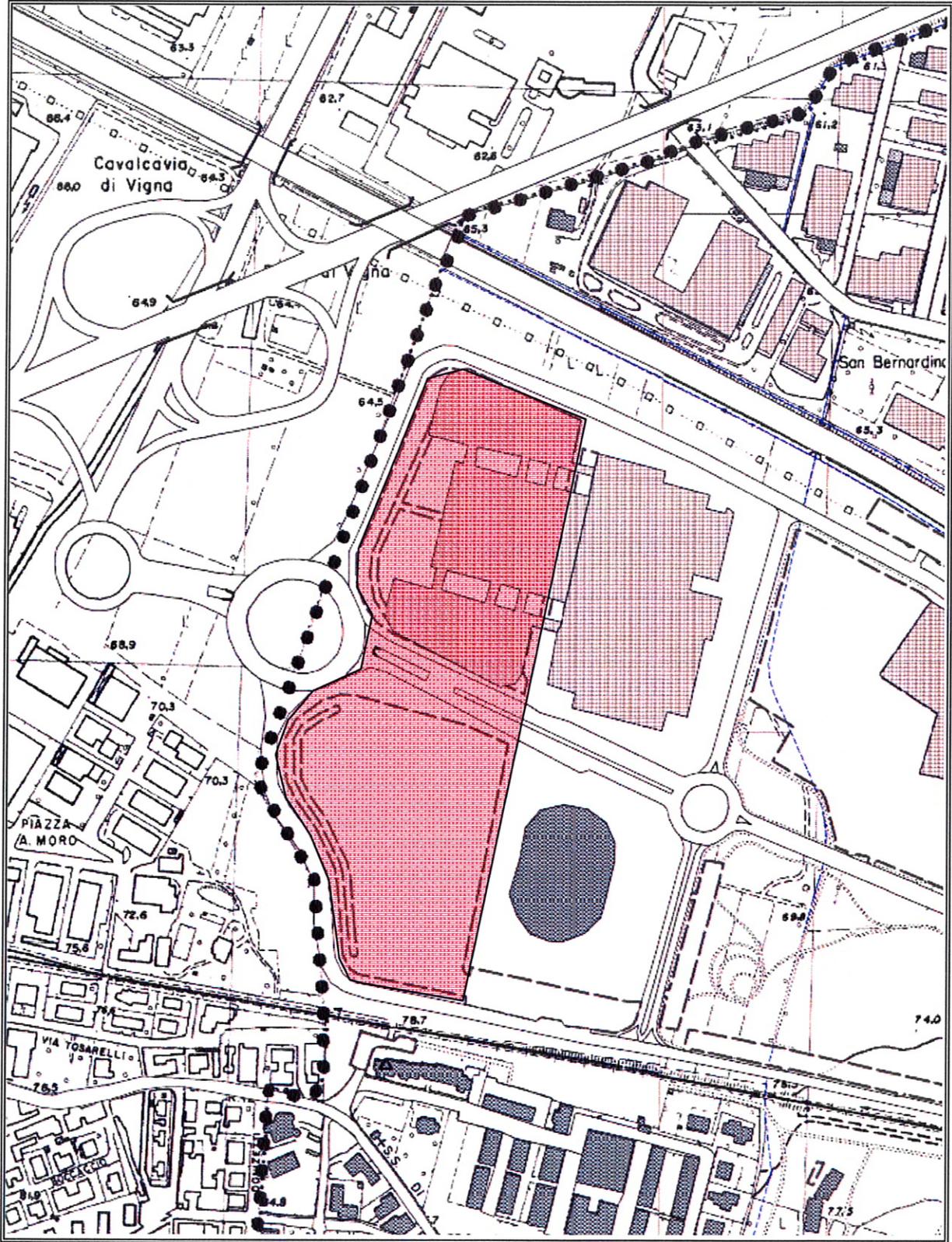
L'area in esame si ubica in via Coppi, in Comune di Casalecchio di Reno (BO) (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 220111 – Zola Predosa).

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

- a) analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;
- b) determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
- c) determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;
- d) caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;
- f) analisi della risposta sismica locale.

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME

Via Cimarosa, 119 - Casalecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18



Area in esame

Scala 1:5.000

STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica". O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e successive modifiche.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 617/2009.
- Delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.

3. SITUAZIONE MORFOLOGICA E GEO-LITOLOGICA GENERALE

L'area in esame si ubica ad una quota di circa 68,00 m s.l.m. nella zona compresa tra la fascia collinare pedeappenninica e l'alta Pianura Padana.

Da un punto di vista morfologico ci troviamo in presenza di leggere ondulazioni nella parte meridionale passanti verso Nord a terreni pianeggianti.

La morfologia superficiale risente sia del costante intervento umano, volto a migliorarne l'efficienza dal punto di vista agricolo, sia della vicinanza di vari fossi di scolo e canali che, in fase di tracimazione e di sedimentazione, hanno depositato lenti alluvionali che si interdigitano tra di loro conferendo alla zona un andamento leggermente ondulato.

A questi fattori si è aggiunta un'intensa opera di urbanizzazione che ha mascherato in parte la morfologia originaria.

Da un punto di vista geo-litologico, come si evidenzia nella Carta Geologica della Regione Emilia - Romagna, a Sud dell'area in esame si evidenziano terreni di età pliocenica, sui quali poggiano i sedimenti Pleistocenici e Calabrianici (conglomerati e sabbie gialle), verso Nord sono invece presenti depositi alluvionali quaternari caratterizzati essenzialmente da materiali medio fini (argille e limi) interrotti localmente da sottili lenti grossolane (sabbie).

L'idrografia superficiale primaria è rappresentata dal Torrente Lavino che sviluppa il proprio corso ad Ovest dell'area in esame, mentre quella secondaria, in parte mascherata dalle opere di urbanizzazione, è costituita da piccoli fossi di scolo e rii bordanti le zone coltivate, che raccolgono le acque di precipitazione eccessive per incanalarle verso i collettori principali.

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, si è provveduto ad eseguire un'indagine in sito, e un'indagine sismica locale al fine di determinare il parametro Vs30 per poi classificare il suolo di fondazione.

4.1 – Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica in sito è consistita nell'esecuzione di n. 3 penetrometrie statiche con punta meccanica (CPT) e di un sondaggio con il metodo del carotaggio continuo (C) che rispetto al p.c. attuale, hanno raggiunto le seguenti profondità:

CPT 1 = 10,20 m

CPT 2 = 7,20 m

CPT 3 = 20,00 m

C1 = 20,00 m

I punti di indagine, compatibilmente all'accessibilità dei luoghi e alla presenza di utenze sotterranee, sono stati posizionati per essere rappresentativi dell'intervento in progetto; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 2.

Il penetrometro statico utilizzato (montato su Unimog Mercedes U400L di proprietà della GEO-PROBE S.r.l.), con cella di carico da 200 kN, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm² per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm² per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo *Begemann*).

I risultati delle penetrometrie statiche vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore q_c (resistenza alla punta), il valore f_s (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, ed il rapporto R_f che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati (*Schmertmann J.H., 1978*).

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 20 cm.

Per l'esecuzione dei carotaggio continuo è stata utilizzata una sonda CMV di proprietà della GEO-PROBE S.r.l., montata su autocarro FIAT PC 75 con le seguenti caratteristiche:

- | | |
|-------------------------|---------|
| - Coppia alla rotazione | 600 Kgm |
| - Velocità di rotazione | 500 rpm |

- Corsa continua 450 cm
- Spinta testa di rotazione 3000 Kg
- Trazione testa di rotazione 3000 Kg
- Pressione pompe:
 - 1) a coclea 35 bar
 - 2) a pistoni 150 bar
- Argano a fune d'acciaio 1500 Kg
- Aste di perforazione con nipples
 - a filetto conico
 - n. 1 x 3000 mm x 60 mm
 - n. 12 x 1500 mm x 60 mm
- Carotieri semplici
 - n. 2 x 1500 mm x 101 mm
- Rivestimento a filettatura tronco conica
 - con scarpa provvista di widia esterni
 - per alesare il foro - sp. 8 mm
 - n. 12 x 1500 x 127
 - n. 2 x 750 x 127
- Campionatore Raymond per esecuzione di S.P.T.
- Scandaglio a filo graduato da 50 m
- Freatimetro graduato della lunghezza di 50 m
- Penetrometro tascabile tipo tubolare SEB (scala 0÷4,5 kg/cm²)
- Scissometro tascabile S75 S76 (scala 0÷2 kg/cm²)

Durante il sondaggio a carotaggio continuo sono state effettuate n. 2 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*), per l'identificazione della resistenza dinamica alla penetrazione del terreno.

La presenza di materiali lapidei grossolani ha sconsigliato l'utilizzo del campionatore *Raymond* che è quindi stato sostituito con una punta conica di diametro esterno di 51 mm e apertura di 60° (in conformità con le "Raccomandazioni A.G.I." del 1977).

La strumentazione utilizzata per l'indagine (modello Nenzi) è costituita da un maglio del peso di 63,5 kg, fatto cadere da una altezza di 760 mm su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è fissata la punta.

Le prove S.P.T. eseguite all'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite seguendo le raccomandazioni A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), secondo le quali si deve procedere alla registrazione dei colpi (N_1 , N_2 , N_3) necessari per ottenere tre avanzamenti successivi di 15 cm ognuno della punta conica, interrompendo la prova quando con $N_1 = 50$ l'avanzamento è inferiore a 15 cm o, in seconda istanza, quando per $N_2 + N_3 = 100$ non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm.

Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione della punta pari a 30 cm (15 + 15 cm) (dopo un primo avanzamento di 15 cm per superare i terreni alterati presenti generalmente sul fondo del foro di sonda) è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione (N_{SPT}).

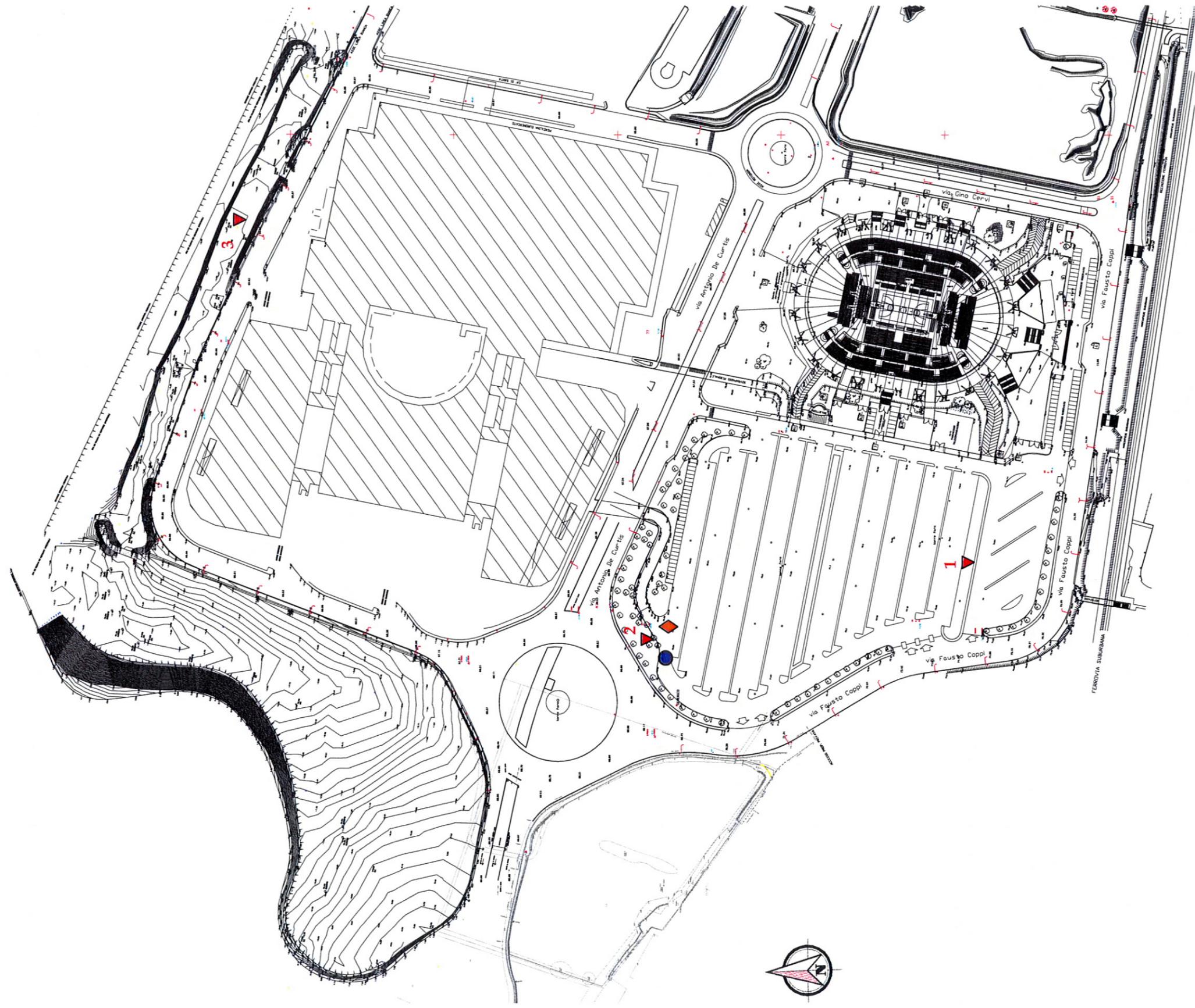
La resistenza alla penetrazione consente una valutazione della densità relativa (D_R) e dell'angolo di attrito efficace (φ').

Le stratigrafie dei carotaggi continui vengono riportate in allegato negli appositi moduli.

4.2 – Indagine sismica

Al fine di determinare il parametro Vs30, necessario a classificare il suolo di fondazione del sito, da parte del Dr. Mirko Sita è stata eseguita un'indagine sismica; la metodologia di indagine e l'elaborazione dei dati ottenuti viene riportata nell'apposita relazione allegata.

TAV. 2 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



- ▲ Penetrometrie statiche
- Carotaggio continuo
- ◆ Indagine sismica

Scala 1:2.500

5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche fisico meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

- Fascia Sud e centrale (CPT 1-2 e C)

al tetto, sono inizialmente presenti delle argille limose e/o sabbiose, di colore da nocciola bruno a nocciola grigiastro con diffuse concrezioni calcaree, di consistenza da plastico dura ($q_c = 2,0 \div 3,6$ MPa; $R_f = 4,2 \div 5,2$ %) a dura ($q_c = 3,7 \div 4,7$ MPa; $R_f = 2,3 \div 6,8$ %) ed umidità medio scarsa, che nella fascia Sud assumono consistenza molto dura ($q_c = 5,1 \div 9,3$ MPa; $R_f = 3,2 \div 6,0$ %) ed inglobano sottili orizzonti francamente sabbiosi di addensamento medio ($q_c = 10,1$ MPa; $R_f = 1,8$ %).

Da una profondità media di $6,20 \div 7,00$ m e per circa $3,00 \div 3,20$ m, si evidenziano delle sabbie con limo di colore nocciola, di addensamento da medio ad elevato ($q_c = 3,8 \div 10,8$ MPa; $R_f = 1,1 \div 2,4$ %) in breve passanti a ghiaie in matrice sabbiosa di colore nocciola di addensamento elevato ($q_c = 20,2 \div 37,4$ MPa; $R_f = 0,5 \div 0,6$ %) che hanno determinato l'arresto delle penetrometrie.

La prova SPT eseguita alla profondità di 8,00 m all'interno del materasso ghiaioso, ha confermato un addensamento elevato, con valori di N_{30} pari a 82, valori normalizzati, $(N1)_{60}$ di 49 e densità relative dell'ordine del 92%.

Oltre prevalgono delle argille limose e/o con limo di colore nocciola di consistenza da media ad elevata (P.P. = $1,2 \div 3,2$ Kg/cmq) ad umidità medio scarsa.

Da una profondità media di 11,80 m e per circa 3,00 m si evidenziano delle ghiaie in matrice limo sabbiosa di colore nocciola scuro.

La prova SPT eseguita alla profondità di 12,10 m all'interno del materasso ghiaioso, ha evidenziato un addensamento medio, con valori di N_{30} pari a 41, valori normalizzati, $(N1)_{60}$ di 19 e densità relative dell'ordine del 56%.

Sotto e sino alla profondità indagata si alternano dei limi argillosi e/o viceversa di colore nocciola di consistenza da media ad elevata (P.P. = $1,1 \div 2,8$ Kg/cmq) ed umidità medio scarsa.

- Fascia Nord (CPT 3)

al tetto, al di sotto di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore medio di 1,00 m, sono inizialmente presenti delle argille limose e sabbiose di consistenza plastica dura ($q_c = 2,4 \div 3,2$ MPa; $R_f = 4,2 \div 6,6$ %).

Da una profondità media di 3,60 m e per circa 7,00 m, si alternano delle argille limose e/o viceversa di consistenza plastica ($q_c = 1,3 \div 1,7$ MPa; $R_f = 5,1 \div 5,7$ %) e dei limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza da plastica dura ($q_c = 2,3 \div 3,3$ MPa; $R_f = 3,4 \div 6,8$ %) a dura ($q_c = 3,7 \div 4,6$ MPa; $R_f = 2,7 \div 5,0$ %) con sottili intercalazioni francamente sabbiose di addensamento medio scarso ($q_c = 4,1 \div 5,8$ MPa; $R_f = 1,7$ %).

Da circa 10,80 m e per circa 3,40 m, prevalgono dei limi sabbiosi di consistenza molto dura ($q_c = 5,0 \div 6,2$ MPa; $R_f = 2,6 \div 5,6$ %) che inglobano sottili intercalazioni francamente sabbiose di addensamento medio buono ($q_c = 7,5 \div 8,0$ MPa; $R_f = 1,7 \div 1,9$ %).

Sotto si alternano delle sabbie limose di addensamento medio ($q_c = 5,1 \div 8,9$ MPa; $R_f = 1,7 \div 2,1$ %) e dei limi sabbiosi di consistenza dura ($q_c = 3,1 \div 4,7$ MPa; $R_f = 2,3 \div 5,4$ %) sopportate da circa 18,00 m da una lente di ghiaia di addensamento medio ($q_c = 13,8 \div 21,7$ MPa; $R_f = 0,6 \div 0,9$ %).

Infine da circa 19,00 m e sino alla profondità indagata sono presenti delle argille limose e/o viceversa di consistenza dura ($q_c = 3,5 \div 4,8$ MPa; $R_f = 5,0 \div 5,9$ %).

Al termine dell'indagine all'interno dei fori di prova e di sondaggio non è stata evidenziata la presenza di falda freatica di superficie anche se non si esclude la presenza di circolazioni idriche localizzate all'interno del materasso grossolano.

Per un maggior dettaglio in allegato, oltre la stratigrafia del carotaggio continuo, viene riportata la litologia dei terreni del primo sottosuolo rilevata in corrispondenza delle penetrometrie statiche e ricostruita mediante la teoria dello *Schmertmann* (1978).

6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

Fascia Sud e centrale

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
A	0,00	6,20	ALS	2,0÷4,7	19,3÷19,6	100÷188	0	0
A1	0,00	7,00	ALS	5,1÷9,3	19,4÷19,8	204÷300	0	0
B	6,20÷7,00	6,60÷8,40	SL	3,8÷10,8	19,0÷19,4	0	31÷37	31÷77
C	6,60÷8,40	9,20÷10,20	GS	20,2÷37,4	8,5÷9,0	0	39÷41	95÷100

Fascia Nord

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	1,00	R	-	-	-	-	-
A	1,00	3,60	ALS	2,4÷3,2	19,2÷19,4	114÷139	0	0
B	3,60	5,20	AL/LA	1,3÷1,7	19,1÷19,3	65÷85	0	0
C	5,20	10,80	LAS	2,3÷4,6	19,3÷19,5	111÷184	0	0
D	10,80	14,20	LS	5,0÷6,2	19,5÷19,6	200÷250	0	0
E	14,20	18,00	SL/LS	3,1÷8,9	18,5	0	29÷32	26÷56
F	18,00	19,00	GS	13,2÷21,7	18,5÷19,0	0	32÷34	56÷68
G	19,00	Fine indag.	AL/LA	3,5÷4,8	19,5÷19,6	147÷192	0	0

R = terreno di riporto;

ALS = argille limose e sabbiose;

AL/LA = argille limose e/o viceversa;

LAS = limi argillosi e sabbiosi;

SL/LS = sabbie limose e limi sabbiosi;

GS/SG = ghiaie sabbiose e/o viceversa.

7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici medi e caratteristici (k).

Fascia Sud e centrale

Unità geotecnica A

È costituita da argille limose e/o sabbiose di consistenza plastico dura a dura ed umidità medio scarsa.

L'unità A si evidenzia nella fascia centrale dal p.c. sino ad una profondità media di 6,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 2	3,5	19,4	147	138	0	0

Unità geotecnica A1

È costituita da argille limose e/o sabbiose di consistenza molto dura ed umidità medio scarsa.

L'unità A1 si evidenzia nella fascia Sud dal p.c. sino ad una profondità media di 7,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 1	5,5	19,6	220	195	0	0

Unità geotecnica B

È costituita da sabbie con limo di addensamento da medio ad elevato ed umidità medio scarsa.

L'unità B si evidenzia da 6,20÷7,00 m sino ad una profondità media di 6,60÷8,40 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 1	9,7	18,5	0	0	35	33
CPT 2	5,2	18,5	0	0	32	30

Unità geotecnica C

È costituita da ghiaie sabbiose di addensamento elevato ed umidità da medio scarsa ad elevata.

L'unità C si evidenzia da 6,60÷8,40 m sino alla profondità di 9,20÷10,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 1	30,1	18,5	0	0	39	37
CPT 2	36,2	18,5	0	0	41	39

Fascia Nord

Unità geotecnica 0

È costituita da terreno di riporto e si evidenzia sino alla profondità media di 1,00 m dal p.c. attuale.

Unità geotecnica A

È costituita da argille limose e/o sabbiose di consistenza plastico dura ed umidità medio scarsa.

L'unità A si evidenzia da circa 1,00 m sino ad una profondità media di 3,60 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	2,6	19,3	121	115	0	0

Unità geotecnica B

È costituita da argille limose e/o viceversa di consistenza plastica ed umidità da medio scarsa a scarsa.

L'unità B si evidenzia da circa 3,60 m sino ad una profondità media di 5,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	1,9	19,2	95	80	0	0

Unità geotecnica C

È costituita da limi argillosi e/o sabbiosi di consistenza plastico dura ed umidità medio scarsa.

L'unità C si evidenzia da circa 5,20 m sino ad una profondità media di 10,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	3,5	19,4	147	141	0	0

Unità geotecnica D

È costituita da limi sabbiosi di consistenza molto dura ed umidità medio scarsa.

L'unità D si evidenzia da circa 10,80 m sino alla profondità media di 14,20 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	5,5	19,6	220	212	0	0

Unità geotecnica E

È costituita da sabbie limose e/o viceversa di addensamento medio ed umidità medio scarsa.

L'unità E si evidenzia da circa 14,20 m sino alla profondità media di 18,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	5,3	18,5	0	0	30	28

Unità geotecnica F

È costituita da ghiaie sabbiose di addensamento medio ed umidità medio scarsa.

L'unità F si evidenzia da circa 18,00 m sino alla profondità media di 19,00 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	17,6	18,5	0	0	33	30

Unità geotecnica G

È costituita da argille limose e/o viceversa di consistenza dura ed umidità medio scarsa.

L'unità G si evidenzia da circa 19,00 m dal p.c. attuale sino alla profondità indagata, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	C _{umed} (kPa)	C _{uk} (kPa)	φ_{med} (°)	φ_k (°)
CPT 3	4,0	19,5	160		0	0

8. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Casalecchio di Reno (TAV. 3 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un'accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni $PGA = 0,150 - 0,175g$ e intensità macrosismica $MCS = 8$.

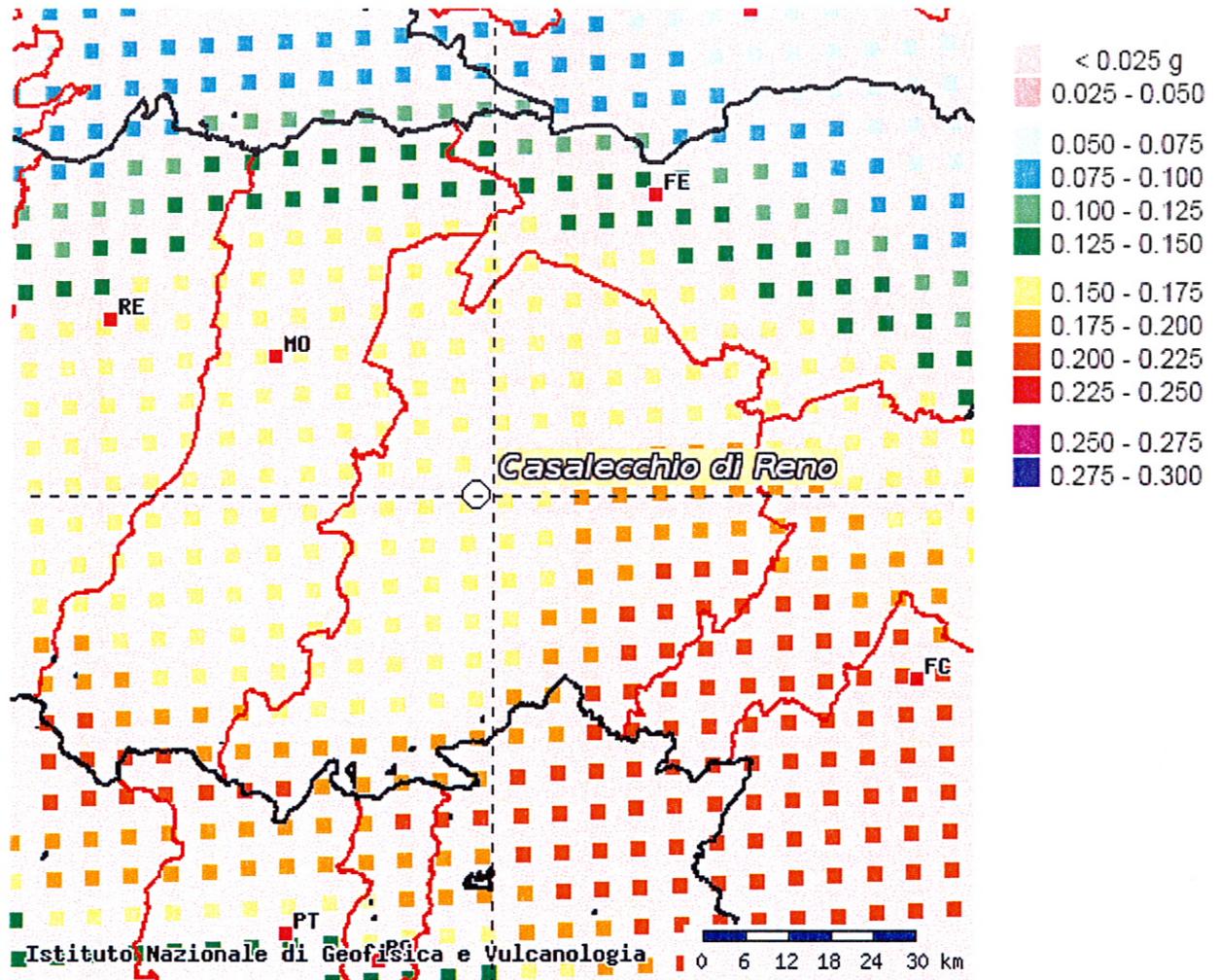
La Magnitudo dell'area si ottiene sulla base della seguente relazione proposta dal Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT):

$$M = \frac{1,93 + MCS}{1,78} = 6$$

La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 3 - MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



9. MODELLAZIONE SISMICA

9.1. Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale (V_n) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tabella 2.4.I

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale V_n (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Nell'area in esame sono previste opere tipo "2" per le quali si prevede una vita nominale $V_n \geq 50$ anni.

9.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

<i>Classe I</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
<i>Classe II</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'Uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A e B di cui al D.M. 5/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geotecniche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A e B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e impianti di produzione di energia.

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tabella 2.4.II

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere da realizzare nell'area in esame sono relative alla Classe III pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a $C_U = 1,5$.

9.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_n per il coefficiente d'uso C_U :

$$V_R = V_n \cdot C_U$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a $V_R = 75$ anni.

9.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame, considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 75 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	45	0,063	2,490	0,268
	SLD	63	75	0,078	2,489	0,278
Stati limite ultimi	SLV	10	712	0,187	2,407	0,313
	SLC	5	1462	0,234	2,438	0,320

9.5. Categoria di sottosuolo

La nuova Normativa per gli effetti locali identifica cinque categorie di sottosuolo (A÷E) suddivisi sulla base dei valori di velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primo 30 m di profondità, e due categorie aggiuntive (S1 e S2) per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione della azione sismica.

Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{CPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{CPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{v,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{CPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{v,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Secondo quanto riportato nella relazione sismica allegata, i terreni che caratterizzano il primo sottosuolo presentano una V_{s30} pari a 254 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine").

9.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente tabella.

Tabella 3.2.IV

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica come da tabella seguente:

Tabella 3.2.VI

CATEGORIA	T1	T2	T3	T4
COEFFICIENTE S_t	1	1,2	1,2	1,4

L'area in esame sorge in una fascia pressoché pianeggiante, perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.

9.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di a_g , F_0 e T_c^* mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tabella 3.2.V

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,4 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	S_s	C_c
SLO	1,500	1,622
SLD	1,500	1,603
SLV	1,430	1,541
SLC	1,357	1,530

9.8 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza si ottiene:

Stato limite	a_{max} (m/sec ²)
SLO	0,927
SLD	1,148
SLV	2,623
SLC	3,115

9.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$kh = \frac{\beta_s \times a_{\max}}{g}$$

dove:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g (g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g (g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g (g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Il coefficiente sismico verticale si ottiene mediante la relazione:

$$k_v = 0,5 kh$$

Nel nostro caso otteniamo.

Stato limite	K_h	k_v
SLO	0,019	0,0095
SLD	0,023	0,0115
SLV	0,064	0,0320
SLC	0,089	0,0445

10. MODELLAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Nel sito in esame è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito di III livello secondo lo schema seguente:

- 1) Definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette;
- 2) Selezione di un moto di input (terremoto caratteristico) al bedrock;
- 3) Stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza;
- 4) Stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

Al fine di effettuare la modellazione numerica per la valutazione degli effetti di sito è necessario avere a disposizione accelerogrammi e spettri di risposta da utilizzare come input sismici nella modellazione stessa.

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di un'unica modellazione numerica generale di risposta sismica.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale è stata eseguita tramite il software EERA e si compone di due fasi:

- elaborazione del modello;
- simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

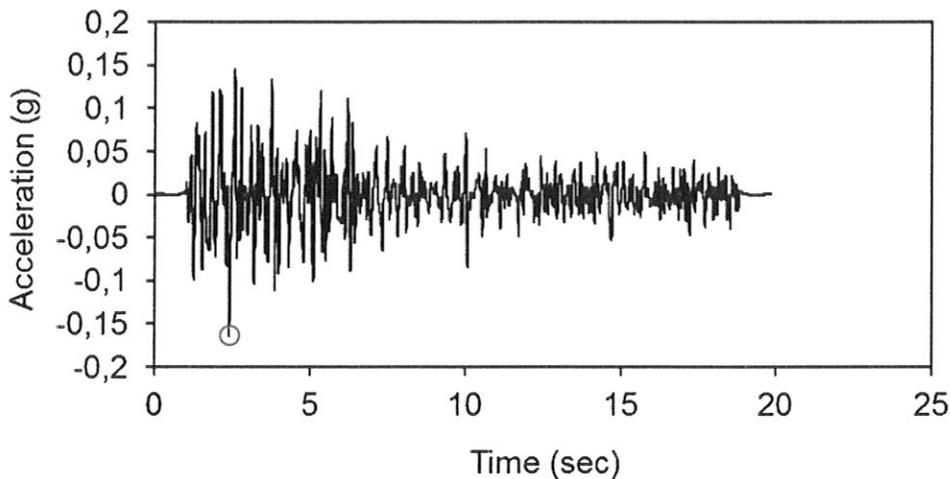
10.1 Selezione del moto di riferimento

Per produrre una simulazione di terremoto si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire dai tre accelerogrammi reali relativi ad un sito in roccia (A) forniti dalla regione Emilia Romagna e identificati dalle sigle 046, 126 e 354 con valore di accelerazione di picco pari a 0,163g.

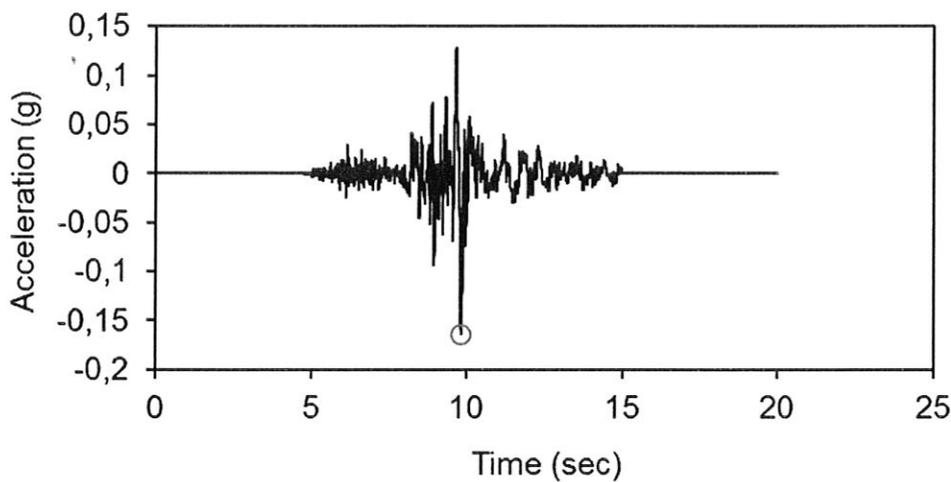
I relativi accelerogrammi vengono riportati nella pagina seguente.

ACCELEROGRAMMI DI INPUT AL BEDROCK (PGA = 0,163g)

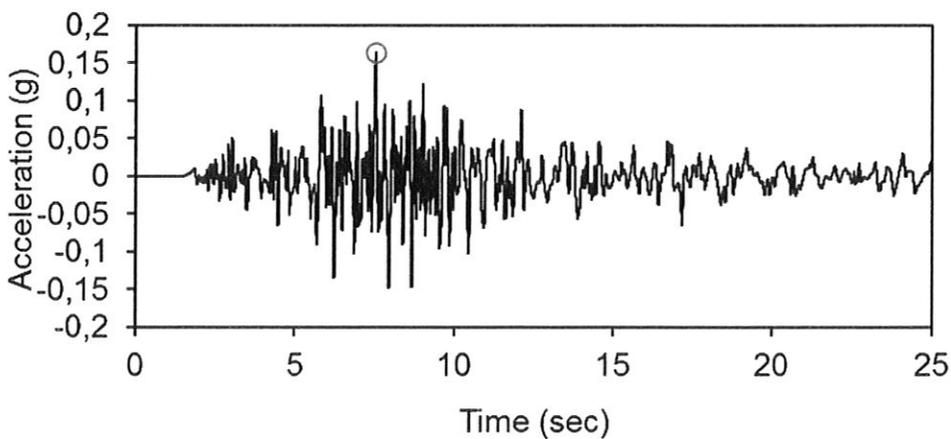
046



126



354



10.2 Elaborazione del modello sismico

La prima fase di elaborazione consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati caratterizzati da diversa tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (V_s).

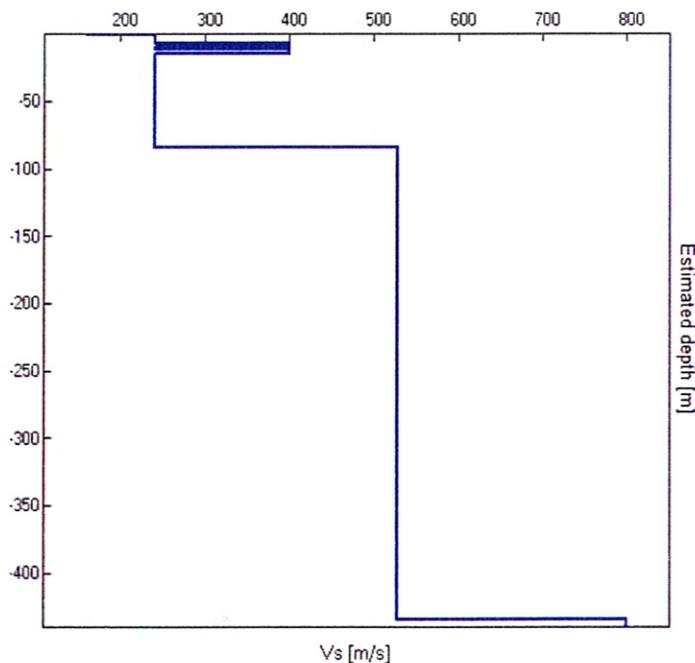
La stratigrafia che caratterizza il modello per i primi 30 metri deriva dagli esiti delle prove geognostiche eseguite, mentre per l'attribuzione della velocità delle onde sismiche di taglio V_s relativa ai differenti strati della colonna sismica, si sono considerati gli esiti dell'indagine sismica eseguita.

Sulla base dei risultati dell'indagine geofisica la profondità del bedrock sismico cui corrisponde una $V_s = 800$ m/sec è stata stimata di circa 430 m dal p.c. attuale.

DISTRIBUZIONE DELLE V_s

Strato sismico	Profondità (m)	V_s (m/sec)
1	0,00÷0,70	160
2	0,70÷7,10	240
3	7,10÷9,20	400
4	9,20÷11,80	240
5	11,80÷14,80	400
6	14,80÷84,80	240
7	84,80÷434,80	530
8	434,80	800

PROFILO DI VELOCITÀ

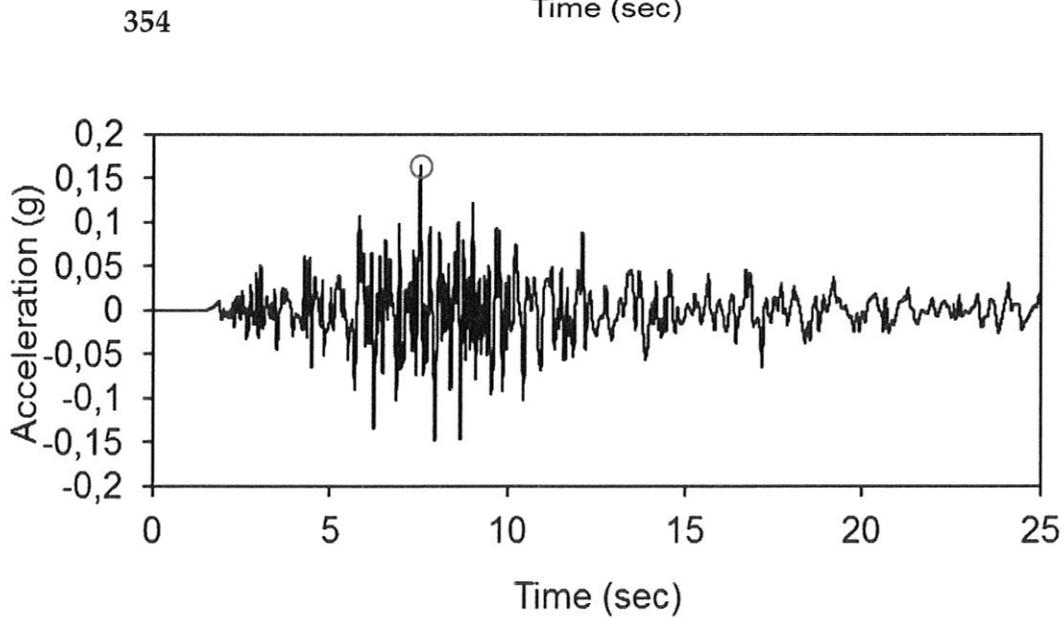
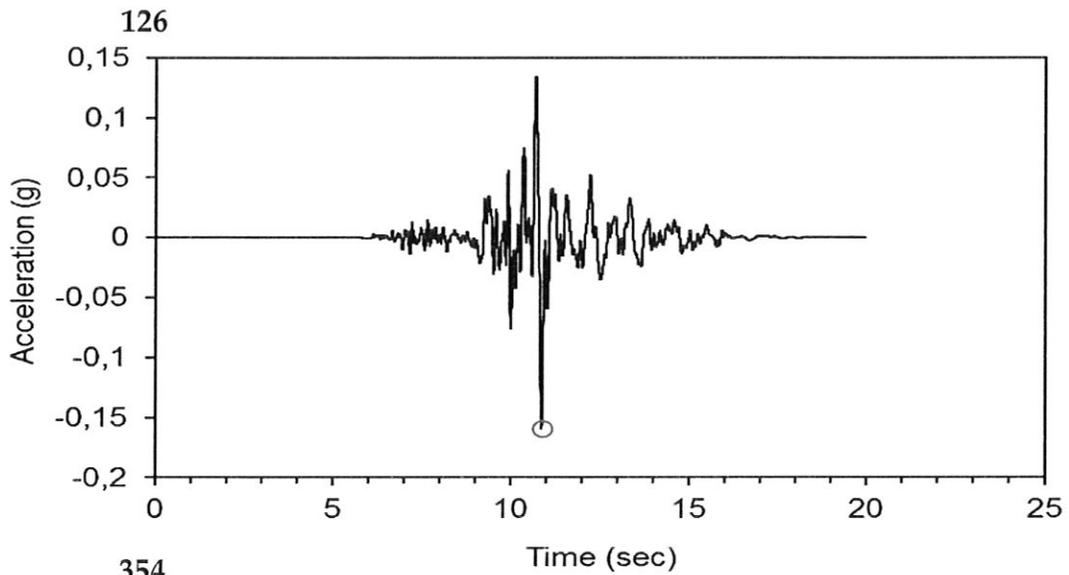
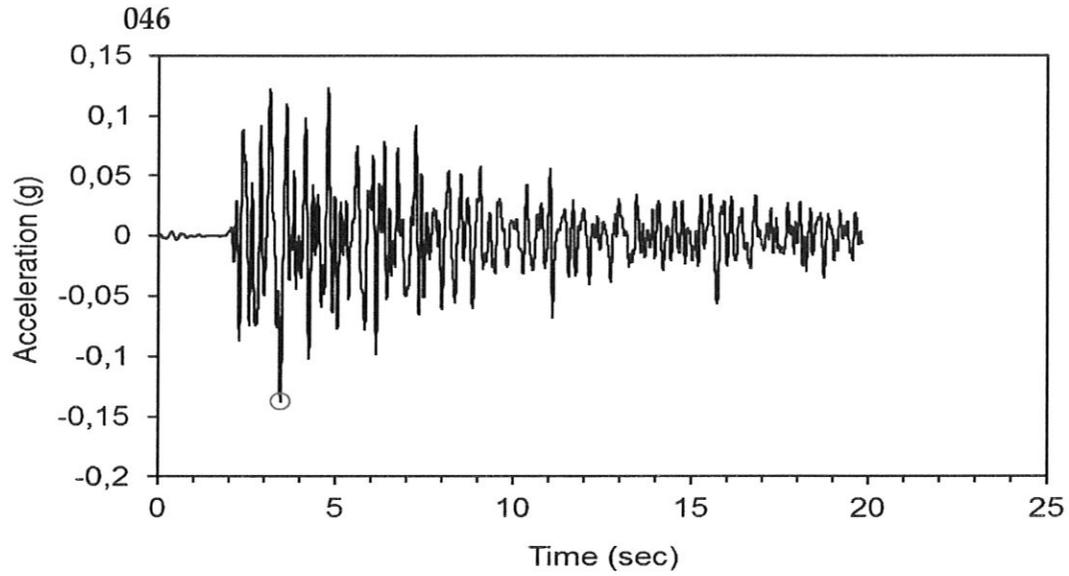


L'interpolazione tra il profilo di sottosuolo e le velocità delle onde sismiche di taglio permette di stimare i valori di accelerazione di picco attesi in superficie per i terremoti caratteristici attesi nel sito (TAV. 4.1).

Nelle TAV. 4.2 viene riportato l'andamento dell'accelerazione di picco attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e il rispettivo valore medio.

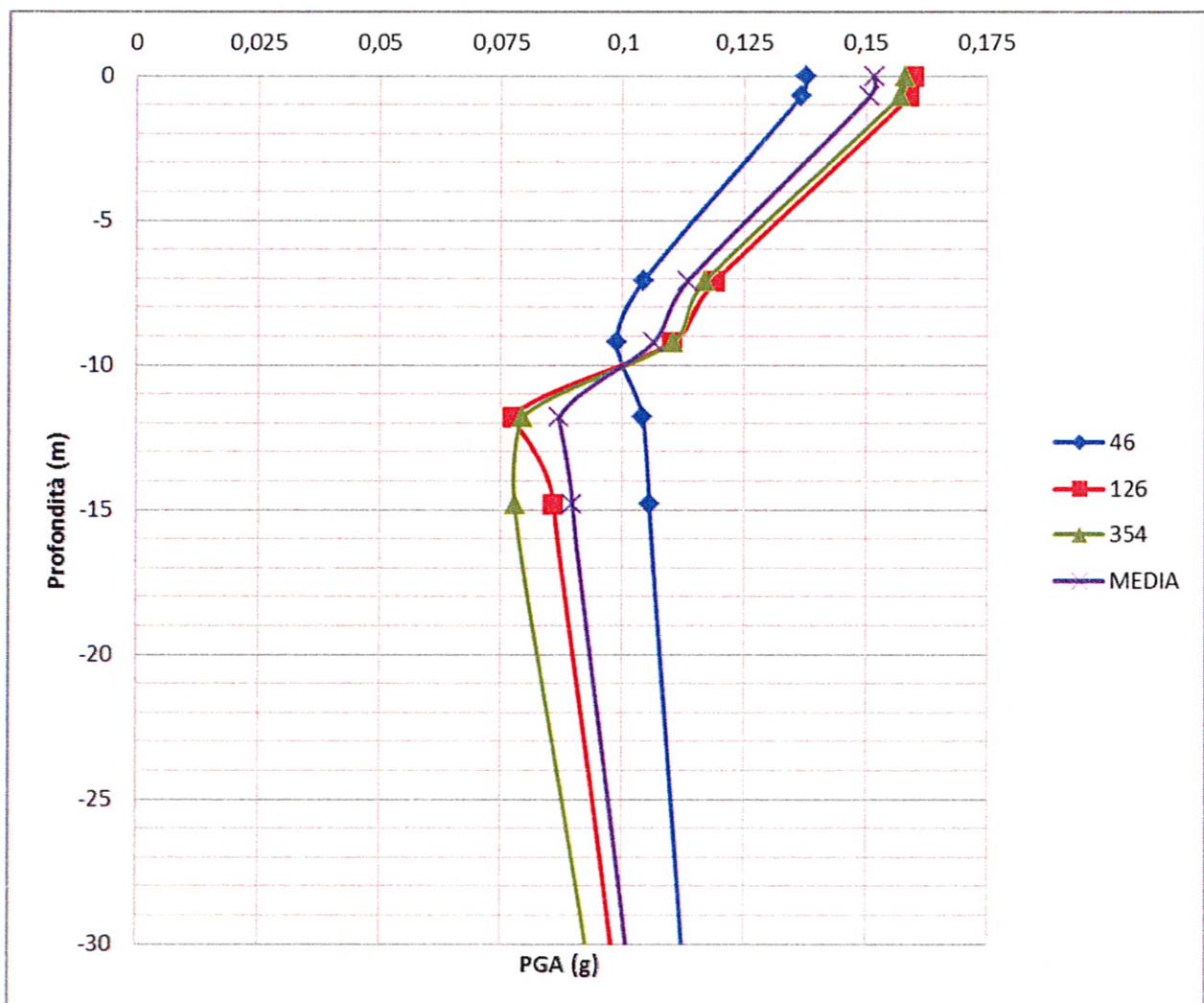
Dalla stessa si evince come il valore di picco dell'accelerazione atteso in superficie per un periodo di ritorno di 475 anni ottenuto dalla simulazione è compreso tra 0,138g e 0,160g mentre il valore mediato è pari a 0,152g.

TAV. 4.1 - ACCELEROGRAMMI DEL SITO



TAV. 4.2 – Accelerazione di picco attesa in funzione della profondità

Profondità	PGA			
	046	0126	354	media
0	0,138	0,160	0,158	0,152
0,7	0,137	0,159	0,157	0,151
7,1	0,104	0,119	0,117	0,113
9,2	0,099	0,110	0,110	0,107
11,8	0,104	0,077	0,079	0,087
14,8	0,106	0,086	0,078	0,090
84,8	0,125	0,121	0,122	0,123
434,8	0,102	0,104	0,103	0,103



10.3 Elaborazione dell'amplificazione

La seconda fase di elaborazione consente di ottenere due differenti spettri di risposta, ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato.

Poiché questi spettri vengono ripresi nell'ambito della verifica sismica del sito, nel nostro caso consideriamo come strato sismico il n. 2, sul quale presumibilmente verranno attestate le fondazioni delle opere in progetto.

Nella TAV. 5.1 vengono riportati i grafici della velocità spettrale; i risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo dell'Intensità Spettrale di Housner (IS), indicatore della pericolosità sismica definito come l'area sottesa dallo spettro di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze, e direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante il terremoto.

Il secondo spettro (TAV. 5.2) riguarda l'amplificazione locale intesa come il rapporto di amplificazione tra lo spettro del moto dello strato sismico considerato (PGA) e del bedrock (PGA₀).

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione del deposito, dalla quale si ricava la frequenza fondamentale definita come la frequenza cui corrisponde il valore massimo della funzione di amplificazione.

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni (TAV. 5.2) risulta che la frequenza fondamentale assume un valore di circa 0,6 Hz e il relativo fattore di amplificazione (FA) risulta pari a 2,1.

Nella tabella successiva vengono riportati i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀) e di intensità spettrale ((IS), ottenuti per ciascuno dei tre sismi di progetto.

Segnale reg.	F.A. PGA/PGA ₀	F.A. IS 0,00÷0,50 sec	F.A. IS 0,50÷1,00 sec
046	2,1	1,02	1,22
126	2,1	1,09	1,28
354	2,1	1,08	1,26

Nella TAV. 6 vengono confrontati i tre spettri in accelerazione, lo spettro risultante dalla media dei tre, e lo spettro inelastico di progetto SLV (N.C.T. 3.2.3.5) ottenuto mediante il foglio di calcolo del Ministero dei Lavori Pubblici riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento.

I parametri utilizzati per determinare le forme spettrali sono i seguenti:

$V_n = 50$

Classe d'uso = I

Coefficiente d'uso = 1,0

Categoria di sottosuolo = C

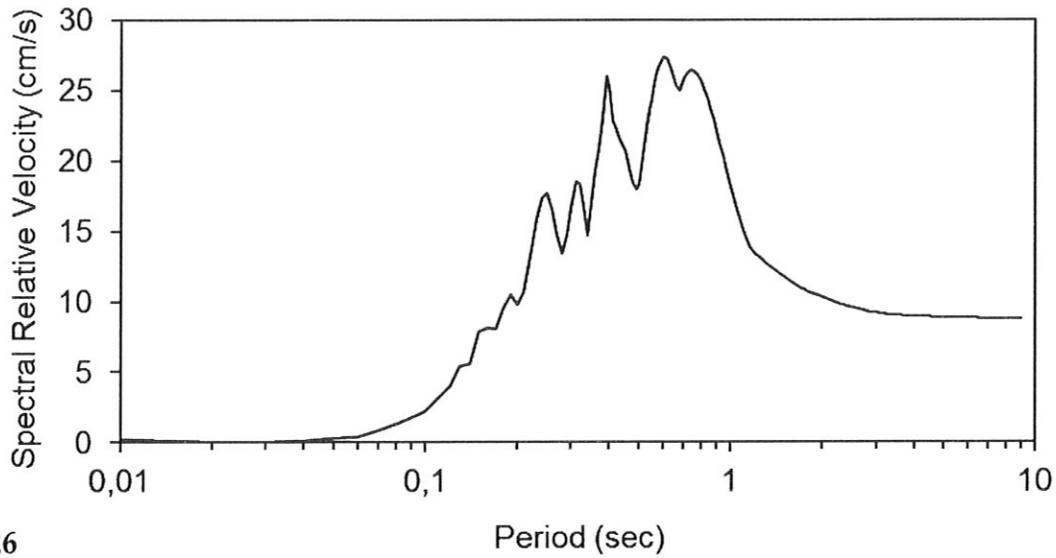
Categoria topografica = T1

Smorzamento = 5 %

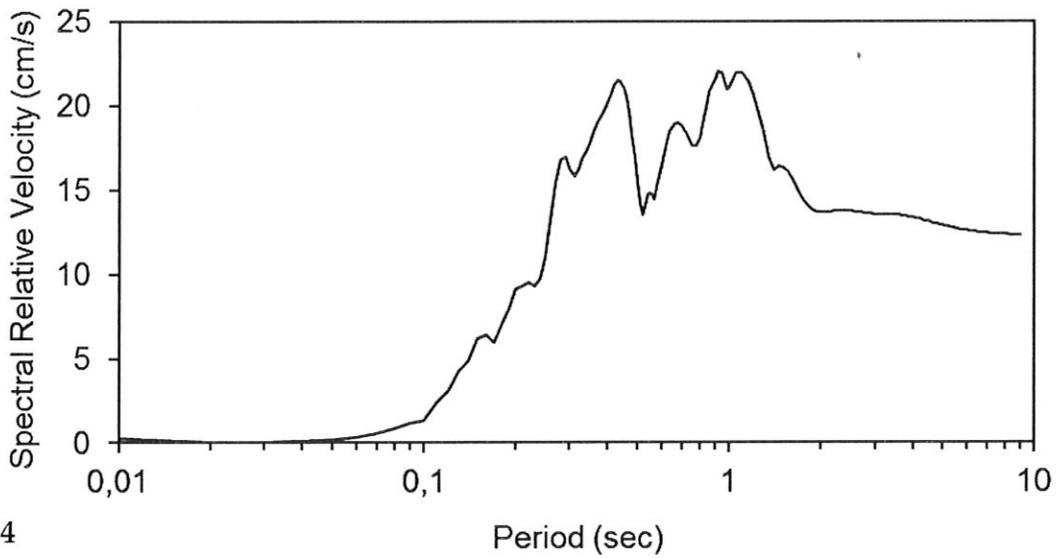
Fattore di struttura = 3

TAV. 5.1 – Spettri di risposta relativi alla pseudovelocità (PSV)

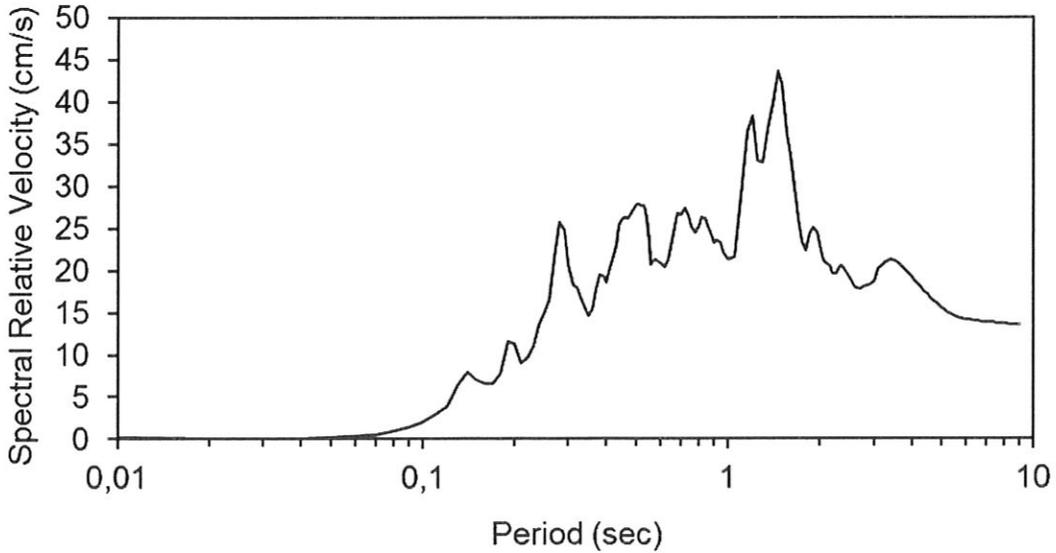
046



126

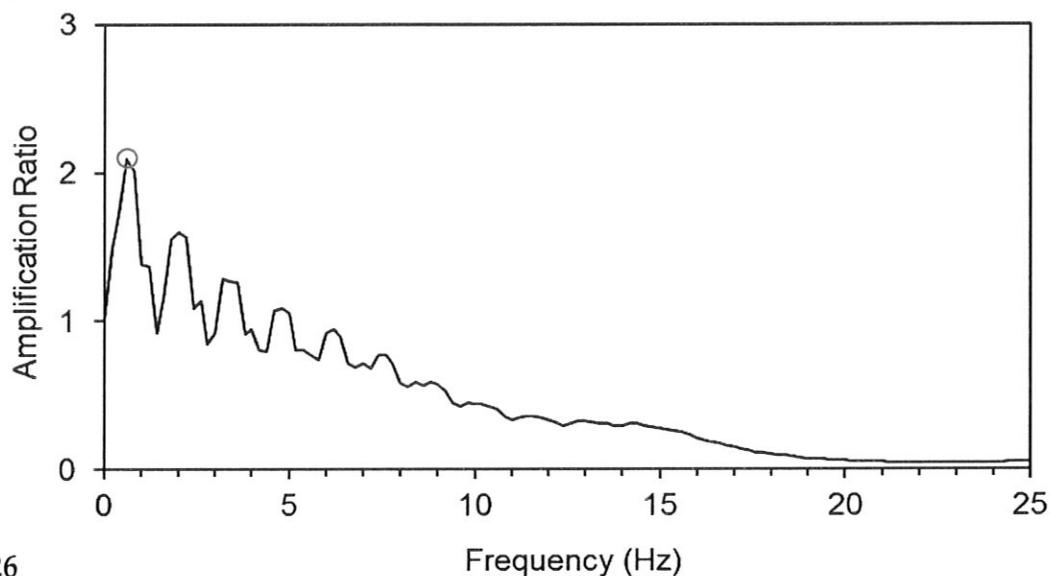


354

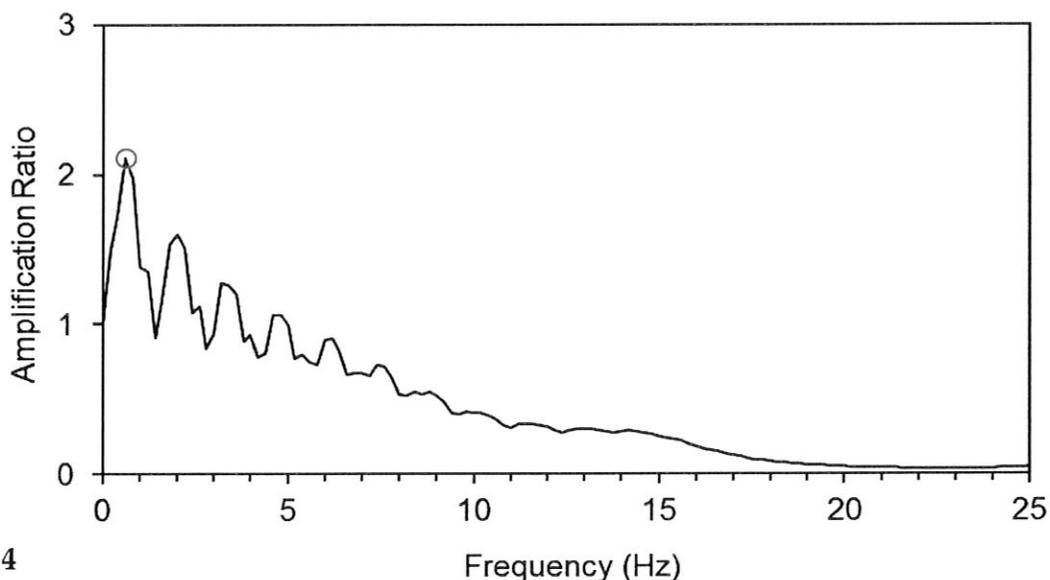


TAV. 5.2 – Spettro di amplificazione PGA/ PGA₀

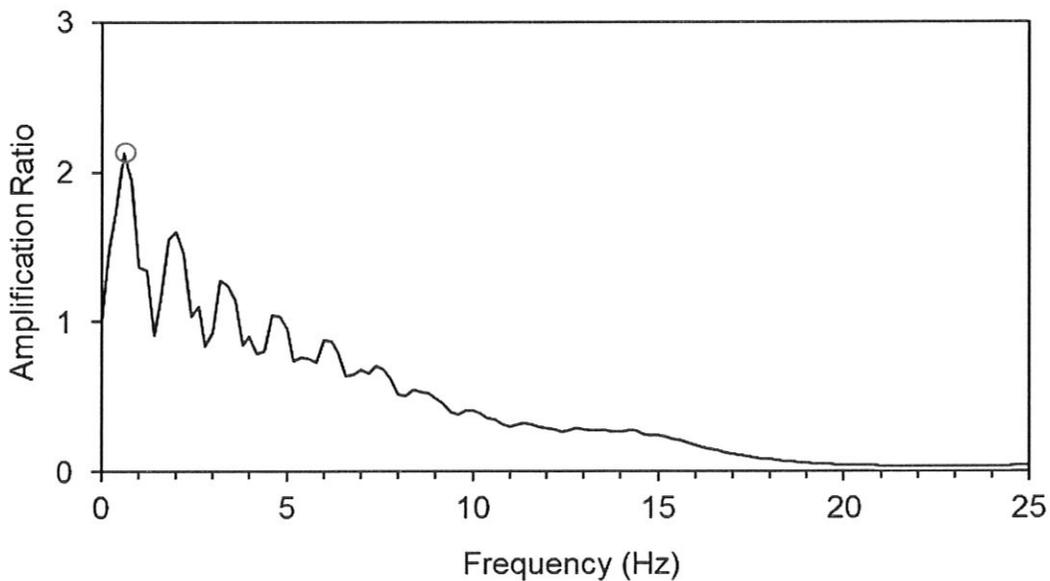
046



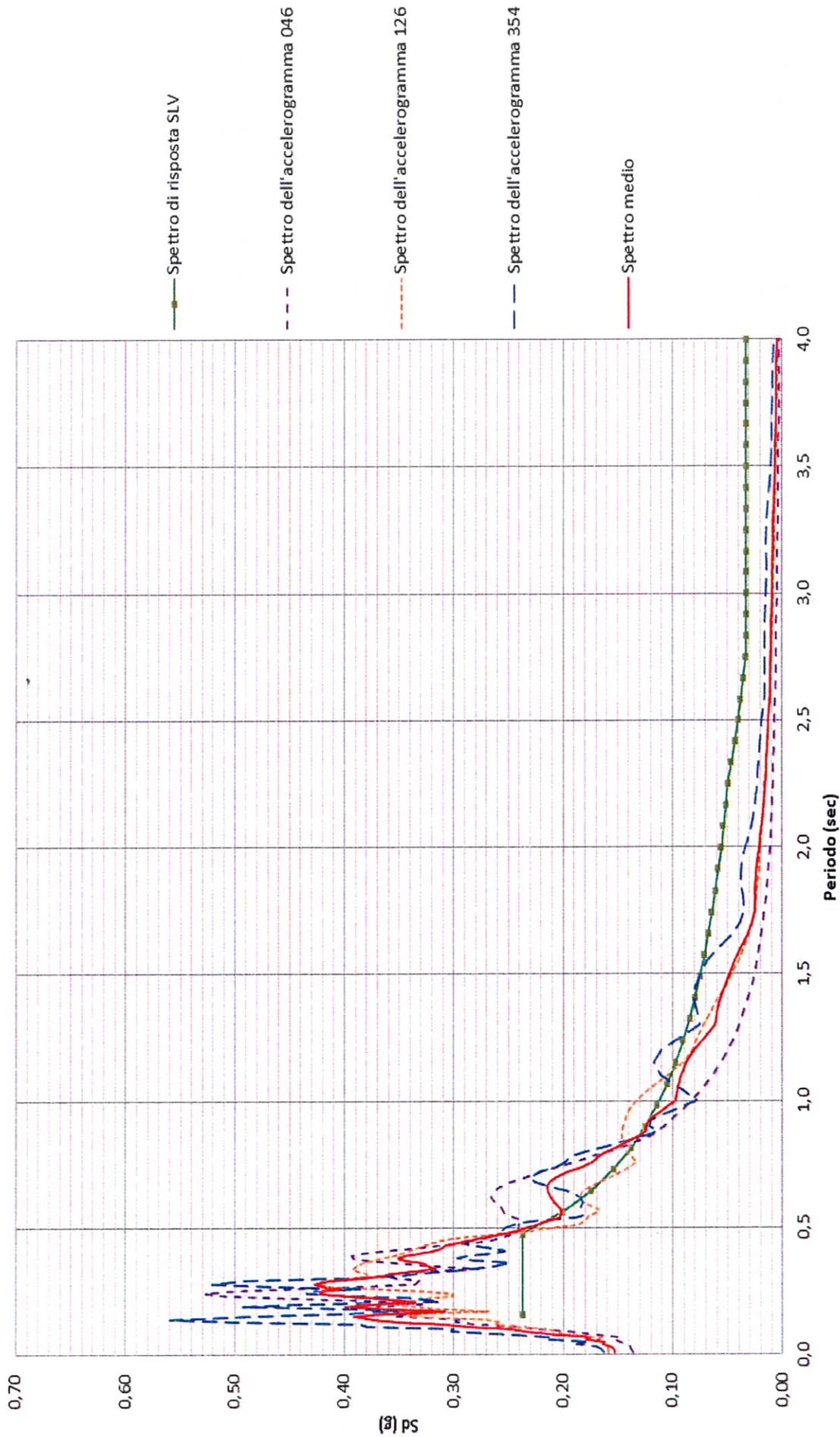
126



354



TAV. 6- Spettri di risposta



11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

Tale fenomeno riguarda innanzitutto terremoti di magnitudo > 5 , caratterizzati da accelerazioni massime al sito $a_{\max} > 0,10 g$ e di durata prolungata (> 15 sec) e i sedimenti granulari (incoerenti), non consolidati, saturi, con densità relativa inferiore al 40 % e a granulometria uniforme e medio piccola, come ad esempio limi e sabbie fini di origine deltizia, fluviale e marina di età recente e i terreni di riporto.

Il fenomeno non appare probabile in terreni con valori superiori della densità relativa, e soprattutto quando le sabbie includono ghiaie o ciottoli. In questo ultimo caso se il deposito ghiaioso è compreso tra terreni poco permeabili, indipendentemente dalla sua capacità drenante, può essere soggetto al fenomeno della liquefazione.

Nei terreni a grana fine (limi ed argilla), sebbene caratterizzati da bassi valori della permeabilità, la possibilità che si possa verificare il fenomeno è molto ridotta o addirittura nulla, grazie all'influenza determinante dei legami interparticellari, ovvero della coesione.

Secondo l'Eurocodice 8 la liquefazione può verificarsi in terreni di fondazione composti da estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo - argillosa e falda al piano campagna.

Il rischio di liquefazione è espresso attraverso il rapporto fra lo sforzo ciclico normalizzato (CSR) e la resistenza ciclica normalizzata (CRR). Se il rapporto (F_s) è maggiore di 1 il terreno è non liquefacibile, mentre diventa liquefacibile in caso contrario.

Lo sforzo ciclico normalizzato può essere valutato nell'ipotesi di mezzo perfettamente rigido, in cui si propagano solo onde di taglio, con la seguente espressione semplificata che tiene conto del mezzo deformabile:

$$CSR = \frac{\tau_{hm}}{\sigma'_z} = 0,65 \times a_{\max s} \times \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \times \frac{r_d}{g} \times \frac{1}{MSF}$$

dove:

τ_{hm} = tensione tangenziale media indotta dal sisma di progetto;

a_{max} = accelerazione massima al sito;

σ_z e σ'_z = valori della tensione litostatica totale ed effettiva alla profondità z dal p.c.;

r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c. valutabile secondo il seguente schema:

$r_d = 1 - 0,00765z$ per $z < 9,15$ m

$r_d = 1,174 - 0,0267z$ per $9,15 < z < 23$ m

$r_d = 0,774 - 0,008z$ per $23 < z < 30$ m

$r_d = 0,5$ per $z > 30$ m

MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma ricavabile con le seguenti relazioni:

$MSF = (M/7,5)^{-3,3}$ per $M \leq 7,5$ (Idriss 1990)

$MSF = (10^{2,24}) / (M^{2,56})$ per $M > 7,5$ (Andrus e Stokoe 1997)

La resistenza ciclica normalizzata (CRR) può essere valutata mediante il metodo di Robertson e Wride (1998) che permette di correlare la resistenza al taglio mobilitata nel terreno con i risultati della prova penetrometrica statica.

La procedura di calcolo si basa sulle due seguenti equazioni:

$$CRR = 0,83 \times \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \rightarrow (q_{c1n})_{cs} < 50$$

$$CRR = 93 \times \left[\frac{(q_{c1n})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \rightarrow 50 \leq (q_{c1n})_{cs} < 160$$

dove:

$$(q_{c1n})_{cs} = K_c \times q_{c1n}$$

è la resistenza alla punta normalizzata e corretta per tenere conto della percentuale di fine presente (determinata mediante la procedura di Robertson e Wride 1998) e K_c è un fattore di correzione funzione dell'indice del tipo di terreno I_c così definito:

I_c	% fine	K_c
$\geq 2,6$	alto (limi/argille)	Non liquefacibile
$\leq 1,64$	basso	$K_c = 1$
$1,64 < I_c < 2,6$	medio	$K_c = -0,403I_c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88$

Dalle procedure di calcolo di Robertson e Wride (1998) applicate alla CPT 3, è emerso che in tutto l'intervallo indagato il fattore di sicurezza FS è maggiore di 1.

Il rischio di liquefazione, deve inoltre essere valutato in termini quantitativi mediante un indice rappresentativo del rischio di liquefazione e applicabile ai metodi che prevedono il calcolo del fattore di sicurezza.

Iwasaki et al., (1978) hanno introdotto il parametro "Indice del potenziale di Liquefazione PL", esplicabile mediante le seguenti relazioni:

$$P_L = \int_0^{z_{crit}} FS(z) \times w(z) \cdot dz$$

$$FS(z) = \begin{cases} 1 - FS(z) \rightarrow FS \leq 1.0 \\ 0 \rightarrow FS > 1.0 \end{cases}$$

$$w(z) = 10 - 0,5 \times z$$

dove:

z = profondità dal piano campagna;

z_{crit} = profondità critica pari a 20 m;

FS = Fattore di Sicurezza.

In base al valore di PL è possibile fornire un'indicazione del rischio di liquefazione attraverso la seguente tabella:

Valore PL	Rischio di liquefazione
PL = 0	Molto basso
0 < PL ≤ 5	Basso
5 < PL ≤ 15	Alto
PL ≥ 15	Molto alto

Nell'area di progetto le valutazioni analitiche hanno espresso un Indice del potenziale di Liquefazione pari a PL = 0,0 traducibile in altri termini in un rischio di liquefazione "Molto Basso".

Uno schema della verifica eseguita viene riportato in allegato.

12. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame si ubica ad una quota di circa 68,00 m s.l.m., in una fascia pressoché pianeggiante e/o moderatamente acclive, posta nella zona compresa tra la fascia collinare pedeappenninica e l'alta Pianura Padana.

La litologia del primo sottosuolo, al disotto di un sottile orizzonte pedogenizzato e/o di riporto, risulta caratterizzata dalla presenza di limi argillosi e/o viceversa di consistenza da plastica a dura, intercalati da lenti sabbiose di addensamento medio buono e da ghiaie di addensamento elevato di andamento prevalentemente lentiforme, il cui tetto tende progressivamente ad approfondirsi spostandoci da Sud a Nord.

Al termine dell'indagine all'interno dei fori di prova e di sondaggio non è stata evidenziata la presenza di falda freatica di superficie anche se non si esclude la presenza di circolazioni idriche localizzate all'interno del materasso grossolano

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

Fascia Sud e centrale

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
A	0,00	6,20	ALS	2,0÷4,7	19,3÷19,6	100÷188	0	0
A1	0,00	7,00	ALS	5,1÷9,3	19,4÷19,8	204÷300	0	0
B	6,20÷7,00	6,60÷8,40	SL	3,8÷10,8	19,0÷19,4	0	31÷37	31÷77
C	6,60÷8,40	9,20÷10,20	GS	20,2÷37,4	8,5÷9,0	0	39÷41	95÷100

Fascia Nord

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	1,00	R	-	-	-	-	-
A	1,00	3,60	ALS	2,4÷3,2	19,2÷19,4	114÷139	0	0
B	3,60	5,20	AL/LA	1,3÷1,7	19,1÷19,3	65÷85	0	0
C	5,20	10,80	LAS	2,3÷4,6	19,3÷19,5	111÷184	0	0
D	10,80	14,20	LS	5,0÷6,2	19,5÷19,6	200÷250	0	0
E	14,20	18,00	SL/LS	3,1÷8,9	18,5	0	29÷32	26÷56
F	18,00	19,00	GS	13,2÷21,7	18,5÷19,0	0	32÷34	56÷68
G	19,00	Fine indag.	AL/LA	3,5÷4,8	19,5÷19,6	147÷192	0	0

I terreni che interagiscono con le fondazioni di quanto in progetto presentano una V_{s30} pari a 254 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine”)*.

Nell'area di progetto le valutazioni analitiche hanno espresso un Indice del potenziale di Liquefazione pari a $PL = 0,0$ traducibile in altri termini in un rischio di liquefazione *“Molto Basso”*.

La modellazione della risposta sismica locale ha consentito di determinare i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di intensità spettrale (IS).

Dalle funzioni di amplificazione ricavate dalle elaborazioni risulta che la frequenza fondamentale assume un valore di circa 0,6 Hz, ed il relativo fattore di amplificazione (FA) risulta pari a 2,1 mentre il fattore di amplificazione (F.A.), in termini di intensità spettrale (IS), per periodi propri del sito (T_0) compresi tra 0,1 e 0,5 sec varia da 1,02 a 1,08 sec, e per periodi compresi tra 0,5 e 1,0 sec varia da 1,22 a 1,28 sec.

Il valore di accelerazione di picco atteso al bedrock nel sito per un tempo di ritorno di 475 anni è pari a 0,163g; la modellazione di III livello effettuata porta a stimare un'accelerazione massima attesa in superficie per lo stesso periodo di ritorno pari a 0,160g e un valore medio, tra i tre terremoti di riferimento considerati, pari a 0,152g.

In considerazione di quanto sopra si può pertanto affermare che da un punto di vista geologico non vi è nulla che impedisca la realizzazione di quanto in progetto.

Casalecchio di Reno, 04 Agosto 2011



ALLEGATI

Indagine geognostica

Committente: Real Station s.r.l.
 Località : Casalecchio di Reno (BO)
 Cantiere : via Coppi
 n° prova : 1
 Profondità falda : assente
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN
 Note: ---

Rapporto di prova N°: 11.0691 /RSP

Data prova: 18/07/2011
 Quota: ---
 Codice lavoro: 2011.138
 Procedura di prova: IO_003

L1 kg/cm ²	L2 kg/cm ²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
58		5,69	137,34	41	2,42	
94	115	9,22	385,86	24	4,19	
81	140	7,94	281,22	28	3,54	
93	136	9,12	398,94	23	4,38	
67	128	6,57	359,70	18	5,48	1,0 m
78	133	7,65	379,32	20	4,96	
62	120	6,08	418,56	15	6,89	
66	130	6,47	425,10	15	6,57	
56	121	5,49	261,60	21	4,76	
47	87	4,61	255,06	18	5,54	2,0 m
55	94	5,39	346,62	16	6,43	
52	105	5,10	274,68	19	5,39	
48	90	4,71	294,30	16	6,25	
52	97	5,10	333,54	15	6,54	
50	101	4,90	261,60	19	5,34	3,0 m
38	78	3,73	209,28	18	5,62	
45	77	4,41	274,68	16	6,23	
37	79	3,63	228,90	16	6,31	
33	68	3,24	202,74	16	6,27	
53	84	5,20	248,52	21	4,78	4,0 m
54	92	5,29	222,36	24	4,20	
50	84	4,90	248,52	20	5,07	
64	102	6,27	379,32	17	6,05	
66	124	6,47	359,70	18	5,56	
69	124	6,76	353,16	19	5,22	5,0 m
75	129	7,35	307,38	24	4,18	
74	121	7,25	300,84	24	4,15	
75	121	7,35	353,16	21	4,80	
85	139	8,33	320,46	26	3,85	
103	152	10,10	183,12	55	1,81	6,0 m
87	115	8,53	327,00	26	3,83	
99	149	9,71	346,62	28	3,57	
95	148	9,31	300,84	31	3,23	
106	152	10,39	287,76	36	2,77	
76	120	7,45	241,98	31	3,25	7,0 m
111	148	10,88	124,26	88	1,14	
69	88	6,76	163,50	41	2,42	
164	189	16,08	124,26	129	0,77	
86	105	8,43	163,50	52	1,94	
84	109	8,24	150,42	55	1,83	8,0 m
94	117	9,22	163,50	56	1,77	
87	112	8,53	170,04	50	1,99	
288	314	28,24	189,66	149	0,67	
308	337	30,20	196,20	154	0,65	
382	412	37,45	235,44	159	0,63	9,0 m
308	344	30,20	189,66	159	0,63	
289	318	28,33	176,58	160	0,62	
207	234	20,29	117,72	172	0,58	
320	338	31,37	189,66	165	0,60	
358	387	35,10	196,20	179	0,56	10,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	18/07/2011	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

Segue Rapporto di Prova N°: **11.0691 /RSP**

L1 kg/cm ²	L2 kg/cm ²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %
400	430	39,22			

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	18/07/2011	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

Committente: Real Station s.r.l.
 Località : Casalecchio di Reno (BO)
 Cantiere : via Coppi
 n° prova : 2
 Profondità falda : assente
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **11.0692 /RSP**

Data prova: 18/07/2011
 Quota: ---
 Codice lavoro: 2011.138
 Procedura di prova: IO_003

L1 kg/cm ²	L2 kg/cm ²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
29		2,84	137,34	21	4,83	
32	53	3,14	137,34	23	4,38	
49	70	4,80	228,90	21	4,76	
54	89	5,29	209,28	25	3,95	
45	77	4,41	189,66	23	4,30	1,0 m
38	67	3,73	189,66	20	5,09	
30	59	2,94	137,34	21	4,67	
38	59	3,73	196,20	19	5,27	
37	67	3,63	183,12	20	5,05	
48	76	4,71	294,30	16	6,25	2,0 m
43	88	4,22	222,36	19	5,27	
29	63	2,84	143,88	20	5,06	
27	49	2,65	150,42	18	5,68	
33	56	3,24	91,56	35	2,83	
44	58	4,31	111,18	39	2,58	3,0 m
45	62	4,41	104,64	42	2,37	
21	37	2,06	117,72	17	5,72	
25	43	2,45	104,64	23	4,27	
27	43	2,65	124,26	21	4,69	
37	56	3,63	202,74	18	5,59	4,0 m
38	69	3,73	248,52	15	6,67	
37	75	3,63	228,90	16	6,31	
33	68	3,24	222,36	15	6,87	
45	79	4,41	255,06	17	5,78	
45	84	4,41	300,84	15	6,82	5,0 m
38	84	3,73	189,66	20	5,09	
38	67	3,73	196,20	19	5,27	
34	64	3,33	209,28	16	6,28	
39	71	3,82	189,66	20	4,96	
29	58	2,84	150,42	19	5,29	6,0 m
25	48	2,45	104,64	23	4,27	
39	55	3,82	71,94	53	1,88	
68	79	6,67	104,64	64	1,57	
327	343	32,06	196,20	163	0,61	
381	411	37,35	209,28	178	0,56	7,0 m
400	432	39,22				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	18/07/2011	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

Committente: Real Station s.r.l.
 Località : Casalecchio di Reno (BO)
 Cantiere : via Coppi
 n° prova : 3
 Profondità falda : foro chiuso a 3.20 m
 Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN
 Note: ---

Rapporto di prova N°: **11.0693 /RSP**

Data prova: 18/07/2011
 Quota: ---
 Codice lavoro: 2011.138
 Procedura di prova: IO_003

L1 kg/cm ²	L2 kg/cm ²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
72		7,06	261,60	27	3,71	
46	86	4,51	215,82	21	4,79	
84	117	8,24	346,62	24	4,21	
64	117	6,27	261,60	24	4,17	
58	98	5,69	255,06	22	4,49	1,0 m
33	72	3,24	183,12	18	5,66	
28	56	2,75	170,04	16	6,19	
29	55	2,84	150,42	19	5,29	
26	49	2,55	143,88	18	5,64	
27	49	2,65	176,58	15	6,67	2,0 m
23	50	2,25	143,88	16	6,38	
31	53	3,04	150,42	20	4,95	
28	51	2,75	130,80	21	4,76	
19	39	1,86	124,26	15	6,67	
23	42	2,25	137,34	16	6,09	3,0 m
27	48	2,65	111,18	24	4,20	
29	46	2,84	137,34	21	4,83	
25	46	2,45	163,50	15	6,67	
18	43	1,76	91,56	19	5,19	
16	30	1,57	85,02	18	5,42	4,0 m
42	55	4,12	71,94	57	1,75	
29	40	2,84	111,18	26	3,91	
25	42	2,45	85,02	29	3,47	
17	30	1,67	91,56	18	5,49	
14	28	1,37	78,48	17	5,72	5,0 m
17	29	1,67	91,56	18	5,49	
24	38	2,35	117,72	20	5,00	
32	50	3,14	156,96	20	5,00	
36	60	3,53	183,12	19	5,19	
35	63	3,43	170,04	20	4,96	6,0 m
33	59	3,24	163,50	20	5,05	
31	56	3,04	156,96	19	5,16	
38	62	3,73	189,66	20	5,09	
46	75	4,51	124,26	36	2,76	
47	66	4,61	124,26	37	2,70	7,0 m
33	52	3,24	196,20	16	6,06	
30	60	2,94	170,04	17	5,78	
31	57	3,04	170,04	18	5,59	
31	57	3,04	209,28	15	6,89	
34	66	3,33	183,12	18	5,49	8,0 m
32	60	3,14	124,26	25	3,96	
26	45	2,55	130,80	19	5,13	
35	55	3,43	163,50	21	4,76	
47	72	4,61	130,80	35	2,84	
38	58	3,73	235,44	16	6,32	9,0 m
34	70	3,33	189,66	18	5,69	
33	62	3,24	183,12	18	5,66	
34	62	3,33	170,04	20	5,10	
60	86	5,88	104,64	56	1,78	
44	60	4,31	143,88	30	3,34	10,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	18/07/2011	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

Segue Rapporto di Prova N°: **11.0693 /RSP**

L1 kg/cm ²	L2 kg/cm ²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
44	66	4,31	163,50	26	3,79	
46	71	4,51	163,50	28	3,63	
37	62	3,63	183,12	20	5,05	
43	71	4,22	117,72	36	2,79	
63	81	6,18	183,12	34	2,96	11,0 m
60	88	5,88	183,12	32	3,11	
61	89	5,98	196,20	30	3,28	
82	112	8,04	156,96	51	1,95	
55	79	5,39	209,28	26	3,88	
64	96	6,27	255,06	25	4,07	12,0 m
51	90	5,00	170,04	29	3,40	
48	74	4,71	124,26	38	2,64	
59	78	5,78	274,68	21	4,75	
60	102	5,88	248,52	24	4,22	
77	115	7,55	150,42	50	1,99	13,0 m
58	81	5,69	320,46	18	5,64	
47	96	4,61	228,90	20	4,97	
62	97	6,08	320,46	19	5,27	
47	96	4,61	261,60	18	5,68	
58	98	5,69	215,82	26	3,80	14,0 m
53	86	5,20	202,74	26	3,90	
79	110	7,75	137,34	56	1,77	
44	65	4,31	137,34	31	3,18	
63	84	6,18	124,26	50	2,01	
54	73	5,29	104,64	51	1,98	15,0 m
72	88	7,06	124,26	57	1,76	
52	71	5,10	98,10	52	1,92	
91	106	8,92	163,50	55	1,83	
56	81	5,49	111,18	49	2,03	
55	72	5,39	111,18	48	2,06	16,0 m
37	54	3,63	196,20	18	5,41	
32	62	3,14	117,72	27	3,75	
38	56	3,73	196,20	19	5,27	
47	77	4,61	130,80	35	2,84	
55	75	5,39	104,64	52	1,94	17,0 m
43	59	4,22	98,10	43	2,33	
57	72	5,59	117,72	47	2,11	
52	70	5,10	98,10	52	1,92	
56	71	5,49	111,18	49	2,03	
48	65	4,71	130,80	36	2,78	18,0 m
141	161	13,82	130,80	106	0,95	
186	206	18,24	137,34	133	0,75	
208	229	20,39	150,42	136	0,74	
222	245	21,76	143,88	151	0,66	
143	165	14,02	111,18	126	0,79	19,0 m
49	66	4,80	268,14	18	5,58	
41	82	4,02	202,74	20	5,04	
36	67	3,53	183,12	19	5,19	
39	67	3,82	228,90	17	5,99	
41	76	4,02				20,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	18/07/2011	Dr. Chelli	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE S.r.l.

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPT (CONE PENETRATION TEST)

N. 1

Committente : Real Station s.r.l.

Località : Casalecchio di Reno (BO) via Coppi

Attrezzatura : Penetrometro da 200 kN

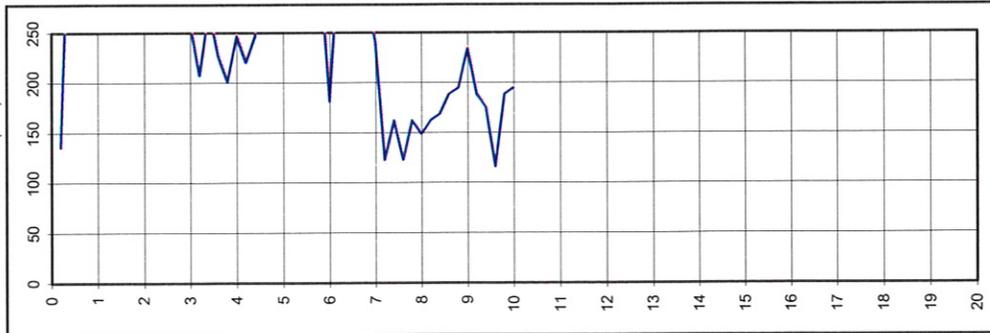
Rapporto di Prova N°: 11.0691 /RSP

Quota: ---

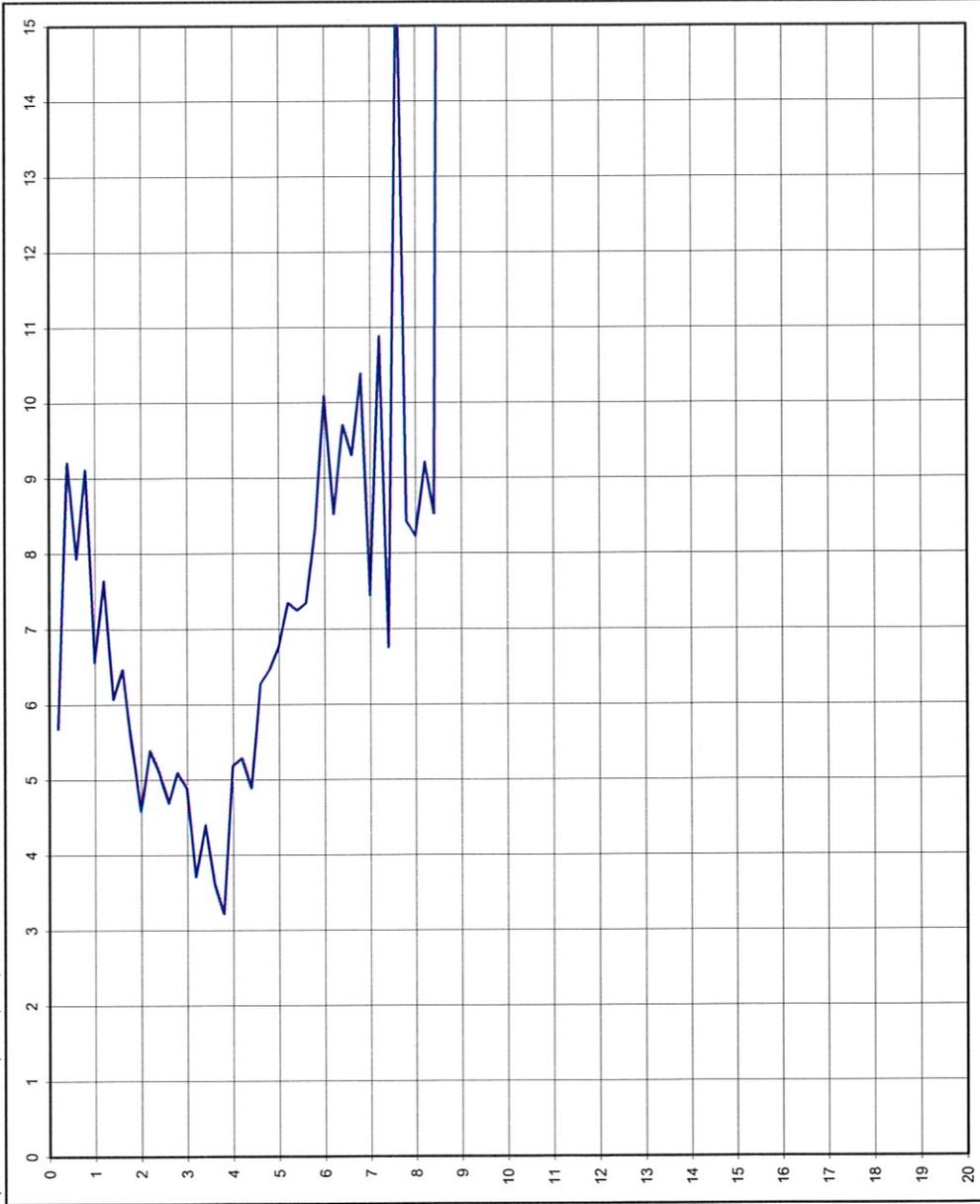
Data prova : 18/07/2011

Codice lavoro: 2011.138

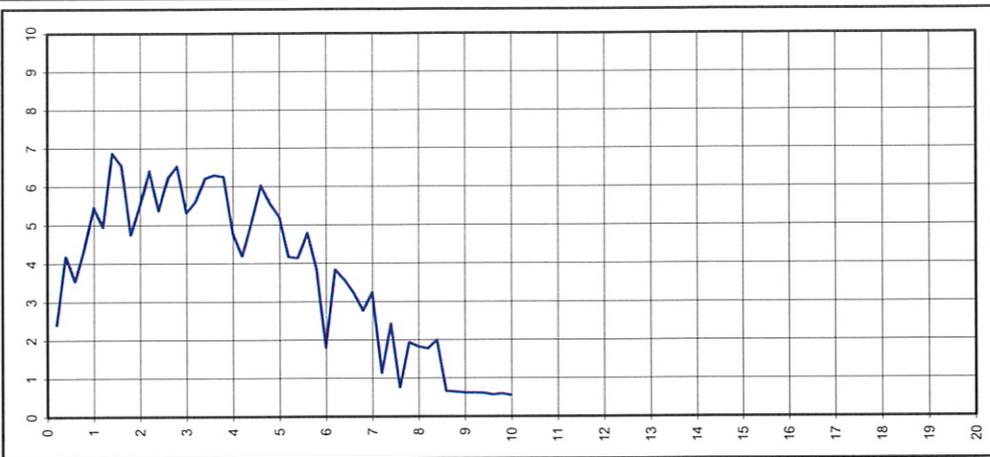
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: assente

Note: ---

Procedura di prova	IO_003	Normativa di riferimento	ASTM D 3441-94	Rev.	0	Data emissione	18/07/2011	Sperimentatore	Dr. Tabarroni	Il Direttore di Laboratorio	Dr. Luca Conti
--------------------	--------	--------------------------	----------------	------	---	----------------	------------	----------------	---------------	-----------------------------	----------------

GEO-PROBE S.r.l.

- Indagini Geognostiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPT (CONE PENETRATION TEST)

N. 2

Rapporto di Prova N°:

11.0692 /RSP

Committente :

Real Station s.r.l.

Quota: ---

Località :

Casalecchio di Reno (BO) via Coppi

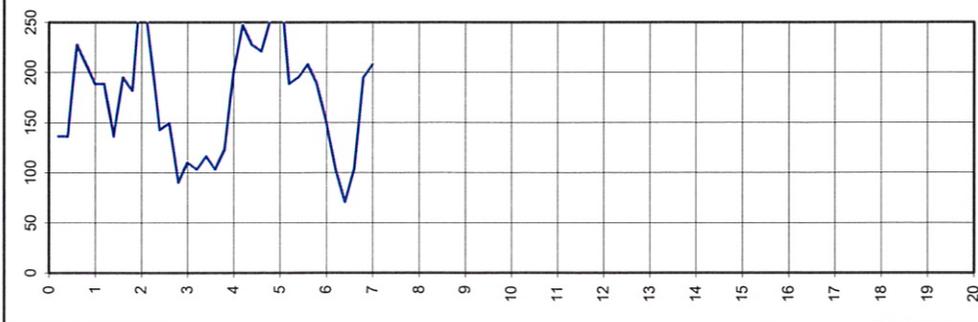
Data prova : 18/07/2011

Attrezzatura :

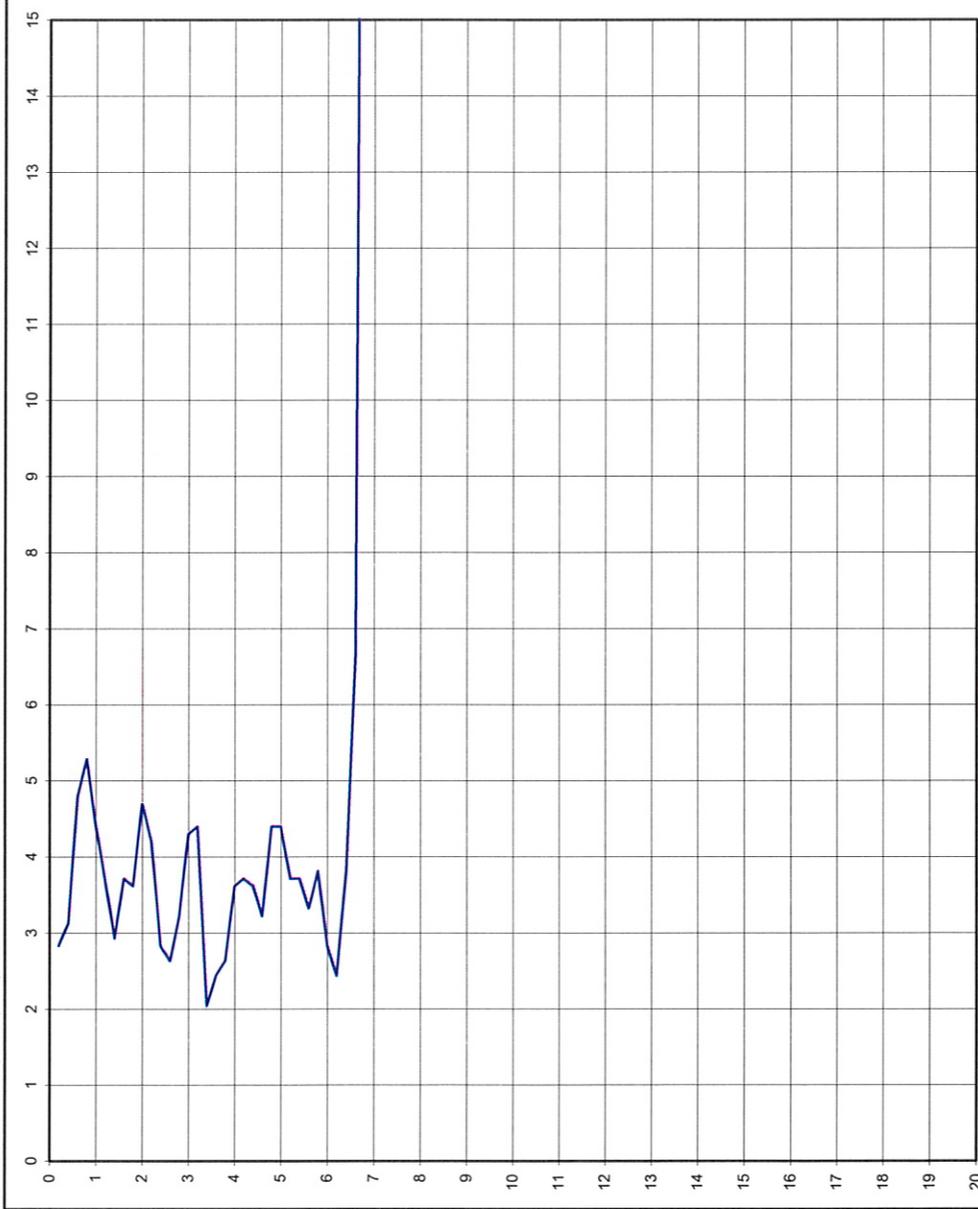
Penetrometro da 200 kN

Codice lavoro: 2011.138

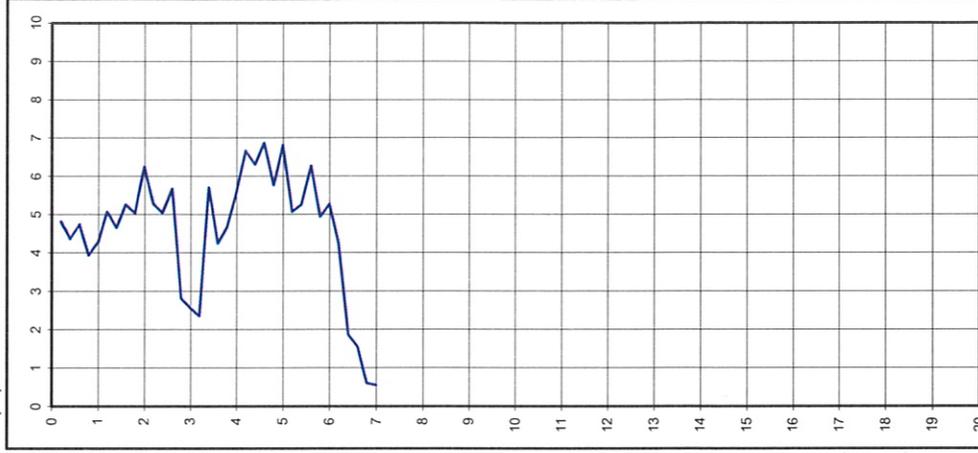
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: assente

Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-94	0	18/07/2011	Dr. Tabarroni	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE S.r.l.

- Indagini Geostatiche -

40033 CASALECCHIO DI RENO

Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

CPT (CONE PENETRATION TEST)

N. 3

Committente : Real Station s.r.l.

Località : Casalecchio di Reno (BO) via Coppi

Attrezzatura : Penetrometro da 200 kN

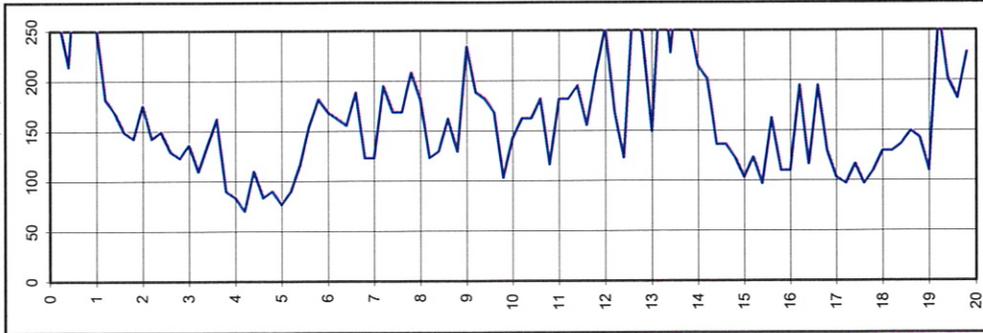
Rapporto di Prova N°: **11.0693 /RSP**

Quota: ---

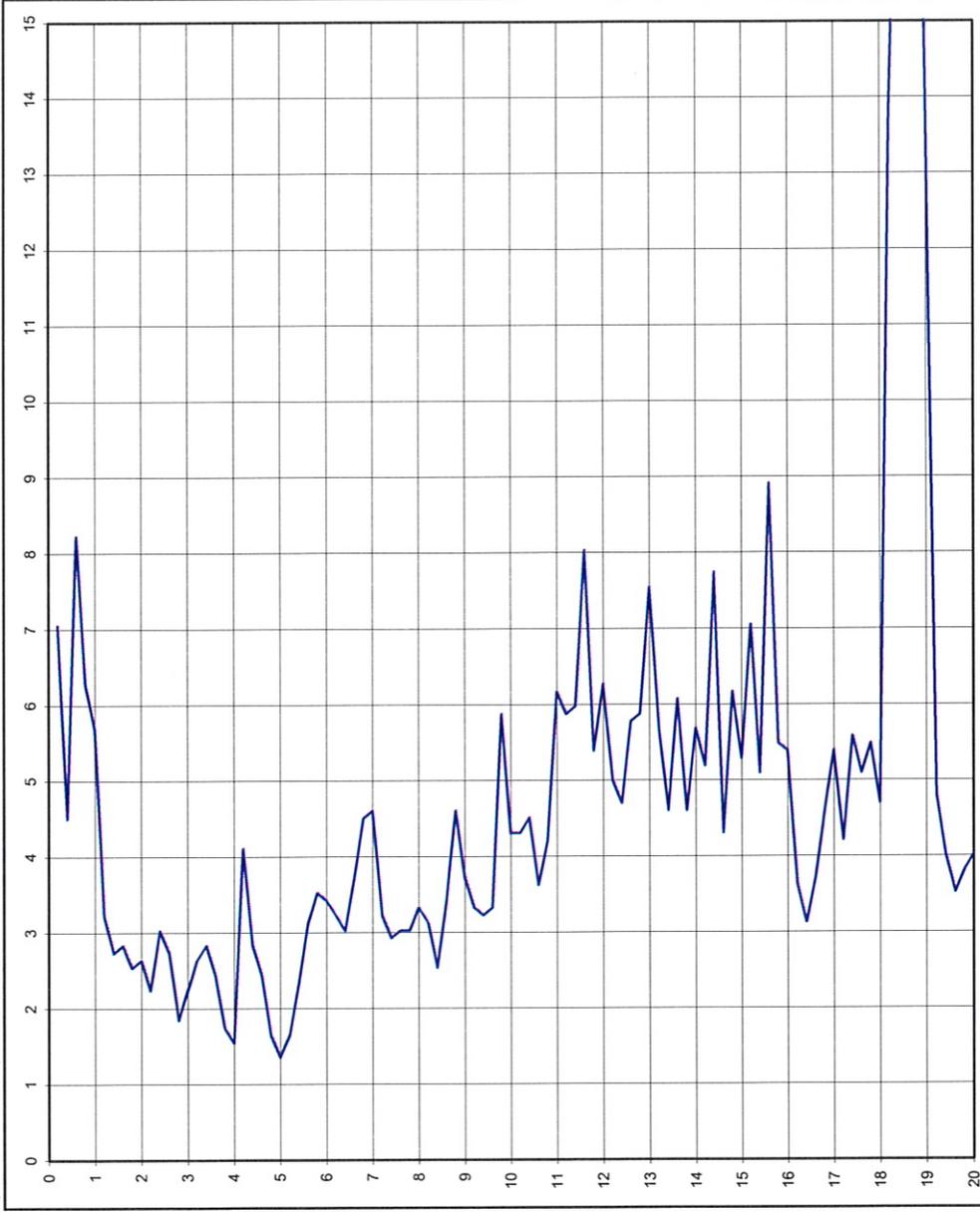
Data prova : 18/07/2011

Codice lavoro: 2011.138

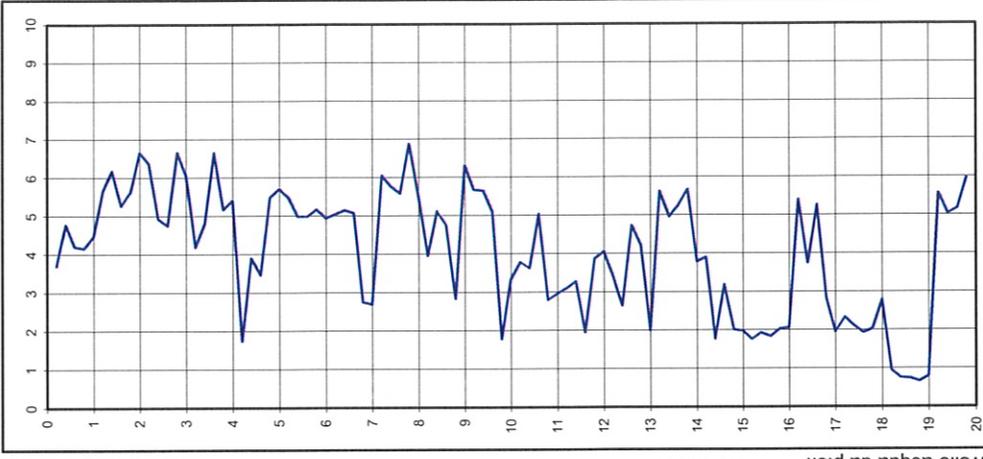
fs resistenza laterale (kPa)



qc resistenza alla punta (MPa)



Rf (%)



Livello acqua da p.c.: foro chiusc

Note: ---

Procedura di prova	IO_003	Normativa di riferimento	ASTM D 3441-94	Rev.	0	Data emissione	18/07/2011	Sperimentatore	Dr. Chelli	Il Direttore di Laboratorio	Dr. Luca Conti
--------------------	--------	--------------------------	----------------	------	---	----------------	------------	----------------	------------	-----------------------------	----------------

Indagine sismica

Comune di Casalecchio di Reno

RELAZIONE GEOFISICA

Committente: Geo-Probe S.r.l.

Determinazione della categoria del suolo di fondazione tramite la valutazione del parametro V_{S30} in un'area situata in Via Fausto Coppi a Casalecchio di Reno (BO)

Luglio 2011

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051.757378 Cell. 349.4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
2. RUMORE SISMICO AMBIENTALE.....	3
3. MISURAZIONE DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE.....	4
3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
3.2 ACQUISIZIONE DATI.....	6
3.3 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	7
3.3.1 Indicazione del substrato sismico.....	9
3.4 VALUTAZIONE DEL PARAMETRO V_{S30} E DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE	10
4. CONCLUSIONI.....	11

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

1. INTRODUZIONE

Su incarico della ditta Geo-Probe S.r.l. è stata redatta la presente relazione riportante i risultati ottenuti da una registrazione del rumore sismico ambientale di fondo (microtremore) effettuata dallo scrivente in data 20 Luglio 2011 in un'area situata in Via Fausto Coppi a Casalecchio di Reno (BO).

Lo scopo dell'indagine, su richiesta della stessa Geo-Probe S.r.l., è consistito nella determinazione del parametro V_{S30} al fine di classificare il suolo di fondazione del sito in accordo con la normativa vigente:

- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (14/01/2008): *Norme tecniche per le costruzioni* (G.U. n. 29 del 04/02/2008) – Suppl. Ordinario n° 30

L'area di intervento è ubicata nell'Elemento *Zola Predosa* n° 220111 della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000.

L'ubicazione del punto di registrazione è indicata in Tavola 1 di seguito riportata.

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

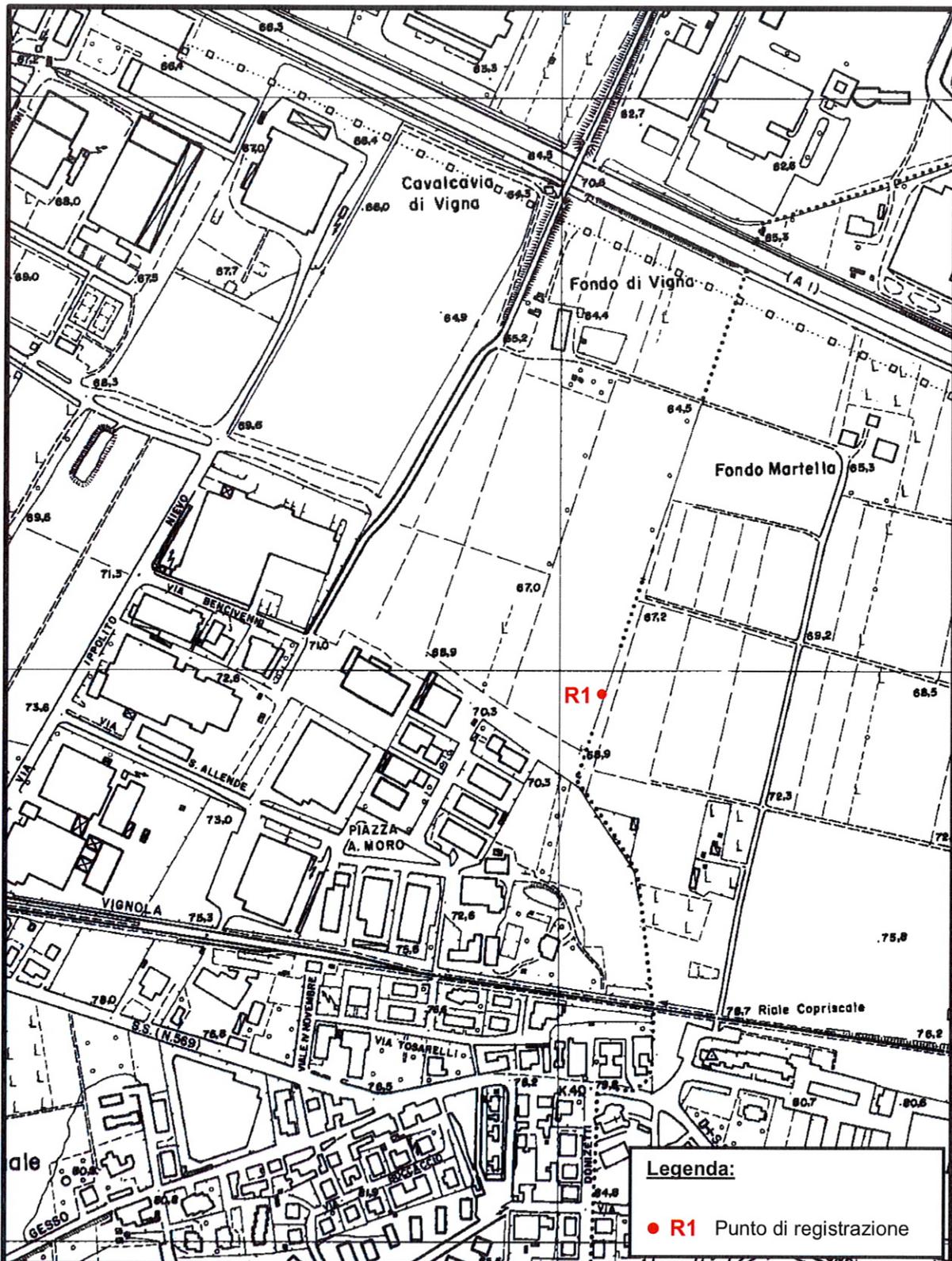


TAVOLA 1: Estratto dalla Carta Tecnica Regionale, Elemento Zola Predosa n° 220111
 Scala 1:5.000

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa

Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174

C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

2. RUMORE SISMICO AMBIENTALE

Il rumore sismico ambientale è conosciuto anche con il termine *microtremore*, dato che si manifesta con oscillazioni decisamente di piccola ampiezza (1~10 μm) e nettamente inferiori rispetto a quelle presenti nel campo prossimo all'epicentro di un terremoto. È costituito in piccola parte da onde di volume (P o S) e per lo più da onde superficiali (in particolare onde di Rayleigh) prodotte da interferenza delle prime e con velocità prossime alle onde S.

La sua permanente presenza sull'intera superficie terrestre è dovuta a:

- fenomeni atmosferici (in particolare al moto delle onde oceaniche e del vento);
- attività antropica (come industrie e traffico);
- attività dinamica terrestre.

L'acquisizione dei microtremori viene effettuata con strumenti a metodologia passiva, in quanto agiscono direttamente come sorgente di eccitazione e non richiedono pertanto l'utilizzo di battute o esplosioni classiche della sismica attiva.

La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtremori è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). È infatti un'opinione accettata in letteratura che le singole componenti del rumore ambientale possono presentare ampie variazioni in funzione dei disturbi naturali ed antropici, mentre il rapporto delle componenti orizzontali e della componente verticale tende a rimanere costante conservando così il picco della frequenza di risonanza fondamentale.

Lo sviluppo di questa metodologia ha visto come massimo fautore Nakamura (1989), il quale si è basato su tre assunzioni fondamentali:

1. Considerare l'origine dei microtremori solo da sorgenti superficiali e trascurare le sorgenti profonde.
2. Considerare l'amplificazione come conseguenza della propagazione delle onde all'interno di

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

uno strato soffice situato al di sopra di un semispazio rigido e omogeneo tale da creare un forte contrasto di impedenza sismica tra le due parti.

3. Considerare la componente verticale del moto non soggetta a fenomeni di amplificazione dallo strato superficiale ad eccezione delle onde di Rayleigh.

Le registrazioni dei microtremori possono offrire un valido aiuto per ricavare indicazioni riguardanti variazioni litostratigrafiche e per la determinazione della velocità delle onde di taglio. In considerazione di quest'ultimo punto risulta evidente il loro utilizzo pratico ai fini del calcolo del parametro V_{S30} .

3. MISURAZIONE DEL RUMORE SISMICO AMBIENTALE

3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le registrazioni del rumore sismico ambientale sono state effettuate tramite tromografo digitale *Tromino* della Micromed S.p.A., il quale permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo e non intrusivo sia il pre-processing dei dati. È costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e in senso verticale) con autobloccaggio in fase di non acquisizione e da un GPS interno.

Considerando il suolo come un corpo viscoelastico risulta possibile effettuare la misurazione delle frequenze proprie di oscillazione, riconosciute come funzioni delle proprietà meccaniche dei materiali e della morfologia attorno al sito in esame.

Tramite lo strumento utilizzato per questa indagine, oltre alla registrazione del rumore sismico, è possibile ricavare queste frequenze di risonanza del sottosuolo e anche quelle degli edifici, conoscendo le quali si creano basi utili in fase di progettazione per evitare la produzione di fenomeni di amplificazione sismica dovuti all'accoppiamento tra le due vibrazioni nel caso coincidessero i loro valori in frequenza.

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

Ciò produrrebbe un notevole aumento della sollecitazione sulle strutture in caso di evento sismico.

Le principali note tecniche di questo tromografo digitale presentate dalla ditta costruttrice sono di seguito esposte:

PRINCIPALI NOTE TECNICHE	
Alimentazione	2 batterie alcaline x 1.5 VDC AA
Voltaggio interno	+3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Consumi	75 mW (GPS disattivato), 450 mW (GPS attivo)
Durata delle batterie	80 h di misura continua con GPS disattivato
Numero di canali	3+1 analogici
Amplificatori	tutti canali con input differenziali
Rumore	< 0.5 μ V r.m.s. @128 Hz sampling
Impedenza dell'input	10^6 Ohm
Range di frequenze	DC - 360 Hz
Frequenza di campionamento	16384 Hz per canale
Frequenze di sovracampionamento	32x, 64x, 128x
Conversione A/D	equivalente a 24 bit
Massimo input analogico	51.2 mV (781 nV/digit)
Display grafico	grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
Tastiera	4 tasti a membrana
Orologio	interno, permanente con datario e allarme, può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
GPS	12 canali con time-marker (precisione 1 μ s), può essere visualizzato anche durante l'acquisizione
Livella	a bolla d'aria, elevata precisione orizzontale, sensibilità 5' d'arco (0.083°)
Conessioni	porta USB, tipo B
Registrazione dati	memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb
Dimensione e peso	10 x 14 x 7.7 (altezza) cm 1.1 kg contenitore di alluminio
Accoppiamento col terreno	su punte e cuscinetto reologico
Condizioni operative	temperatura - 10 / +70°C umidità 0-90% senza condensa
Impermeabilità	indice di protezione IP = 65 (resistente alla polvere, resistente agli spruzzi)
Sensori	3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccaggio quando non in acquisizione

Tabella 1: Principali note tecniche dello strumento di acquisizione.

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
 Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
 C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

L'elaborazione dei dati prevede i seguenti passaggi ed è stata effettuata tramite software *Grilla*, in dotazione allo strumento, con cui è possibile effettuare analisi spettrali e analisi HVSR (in funzione del tempo ed in funzione della direzione):

1. suddivisione della registrazione del rumore sismico nelle sue tre componenti in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno;
2. analisi spettrale del segnale nelle tre componenti;
3. correzione da andamenti anomali (*detrend*);
4. riduzione della dispersione del segnale (*tapering*);
5. calcolo della FFT (*Fast Fourier Transform*) e analisi spettrale PSD (*Power Spectral Density*);
6. lisciamento;
7. media degli HVSR calcolati sulla varie finestre.

3.2 ACQUISIZIONE DATI

Al fine di tarare al meglio gli spessori e le velocità sismiche degli strati la registrazione è stata eseguita in prossimità del sondaggio a carotaggio continuo effettuato nell'area in esame.

Le misure sono state effettuate su terreno soffice argilloso ad erba corta. Le condizioni meteo durante la registrazione sono state buone. Il vento è stato di debole entità e dunque tale da non creare disturbo ai dati.

Lo scrivente ritiene che non ci siano state altre condizioni sfavorevoli atte a produrre vibrazioni aggiuntive a quelle di interesse.

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

3.3 INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Il grafico 1, indicante gli spettri delle tre componenti ortogonali tra loro, non mostra particolari andamenti imputabili a fonti di rumore antropico. Anche l'accoppiamento dello strumento con il terreno risulta di buona qualità, dal momento che nessuna delle tre curve tende ad avere un andamento completamente discordante da quello delle altre due. Pertanto i picchi principali e secondari presenti nel grafico 2, indicante il diagramma HVSR, sono da considerare naturali.

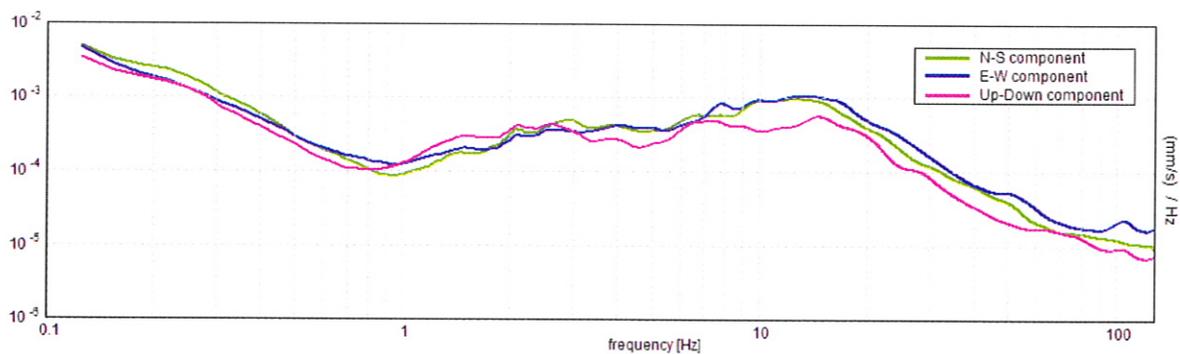


Grafico 1: Spettri delle tre componenti ortogonali rilevate nella registrazione R1.

Il grafico 2 mostra un picco principale a circa 10 Hz riconosciuto come il contatto tra i materiali fini superficiali e le ghiaie rinvenuto alla profondità di 7.1 m nel carotaggio continuo. Tale picco è stato sfruttato per ancorare il diagramma H/V ai dati stratigrafici ricavando così le velocità sismiche all'interno dei materiali.

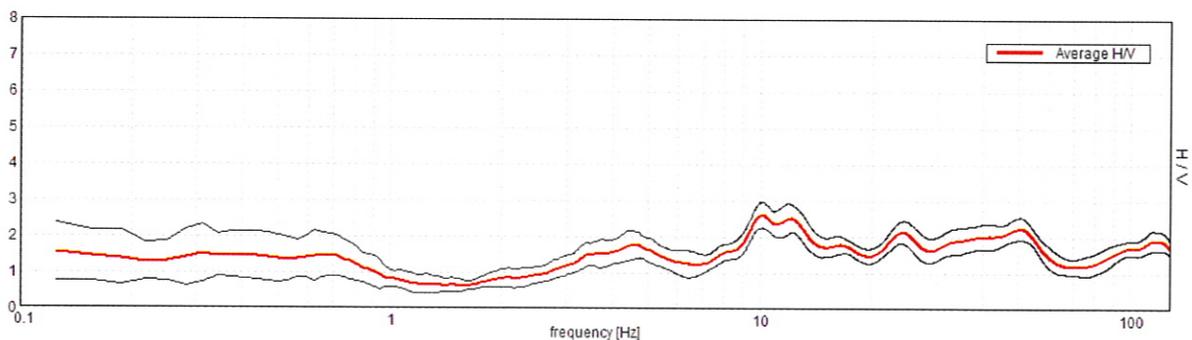


Grafico 2: Diagramma HVSR indicante lo spettro del moto del suolo rilevato nella registrazione R1.

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
 Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
 C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

Le velocità estratte per gli spessori dei materiali nel punto di registrazione R1 vengono di seguito esposte.

	Profondità (m)	V_S (m/sec)
Strato sismico 1	0.0 – 0.7	160
Strato sismico 2	0.7 – 7.1	240
Strato sismico 3	7.1 – 9.2	400
Strato sismico 4	9.2 – 11.8	240
Strato sismico 5	11.8 – 14.8	400
Strato sismico 6	14.8 – 84.8	240
Strato sismico 7	84.8 – 434.8	530
Strato sismico 8	da 434.8	800

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

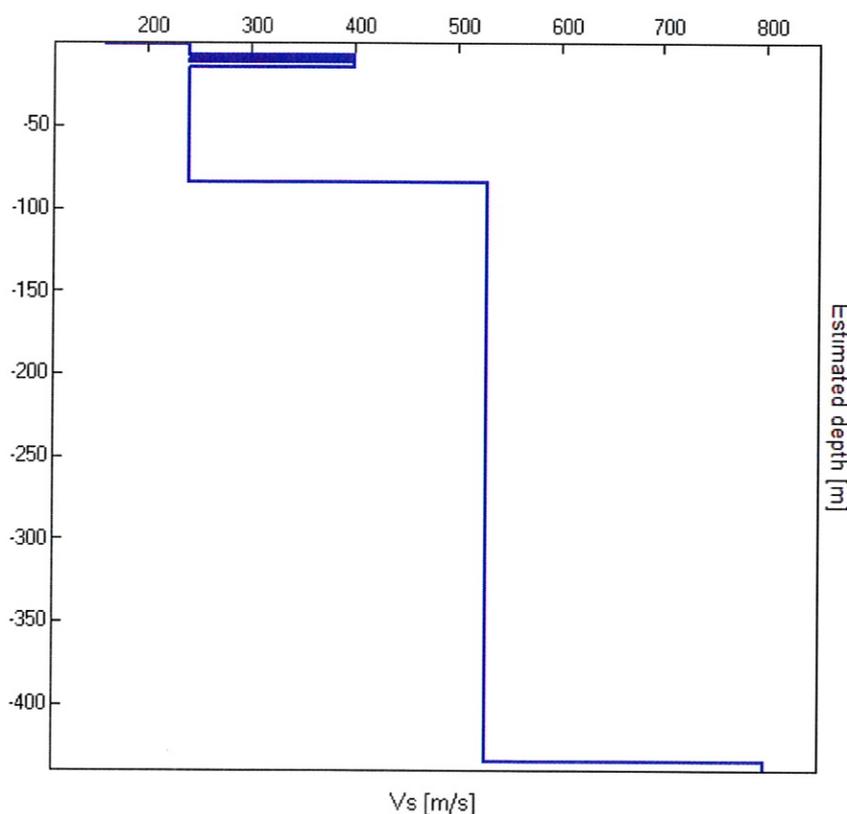
3.3.1 Indicazione del substrato sismico

Il *substrato sismico* viene definito come lo strato sismico in cui V_S risulta maggiore o uguale ad 800 m/s.

Il software di elaborazione dei dati registrati con il tromografo digitale Tromino comprende un codice che simula le onde di superficie (Rayleigh e Love). Ciò permette di creare una curva H/V sintetica e conseguentemente stimare l'andamento della velocità nella verticale di indagine.

Ovviamente questo approccio può essere basato solo su una buona conoscenza della stratigrafia, per lo meno superficiale, ed in particolare sulla profondità di almeno un riflettore sismico utile ad ancorare le frequenze della curva HVSR.

Nel caso in esame si è ottenuto il seguente profilo di velocità:



Il risultato mostra la presenza del substrato sismico alla profondità di circa 430 metri.

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

3.4 VALUTAZIONE DEL PARAMETRO V_{S30} E DETERMINAZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

Sulla base dei risultati ricavati nel paragrafo 3.3, ed in accordo con l'attuale normativa, viene calcolato il valore del parametro V_{S30} tramite la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

Da cui, rispetto al piano campagna, si ottiene:

$$V_{S30 (0.0 \div 30.0)} = 254 \text{ m/sec}$$

Considerando invece varie possibili profondità dell'intervento che verrà effettuato nell'area in esame, si ricava:

$$V_{S30 (1.0 \div 31.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30 (2.0 \div 32.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30 (3.0 \div 33.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30 (4.0 \div 34.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

Per le velocità sopra elencate, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, viene associata una categoria di suolo di fondazione di tipo C definita:

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
 Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
 C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

4. CONCLUSIONI

I risultati della registrazione dei microtremori vengono sinteticamente esposti di seguito:

1. Il sito in esame mostra un picco principale a circa 10 Hz riconosciuto come il contatto tra i materiali fini superficiali e le ghiaie rinvenuto alla profondità di 7.1 m nel carotaggio continuo;
2. Rispetto al piano campagna si ottiene:

$$V_{S30 (0.0+30.0)} = 254 \text{ m/sec}$$

Considerando invece varie possibili profondità dell'intervento che verrà effettuato nell'area in esame, si ricava:

$$V_{S30 (1.0+31.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30 (2.0+32.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30 (3.0+33.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

$$V_{S30 (4.0+34.0)} = 258 \text{ m/sec}$$

3. La categoria del suolo di fondazione per le velocità sopra elencate è pertanto di tipo C.

Lo scrivente resta a disposizione per qualsiasi ulteriore chiarimento o caso dubbio.

Zola Predosa, 21 Luglio 2011

Geologo Mirko Sita



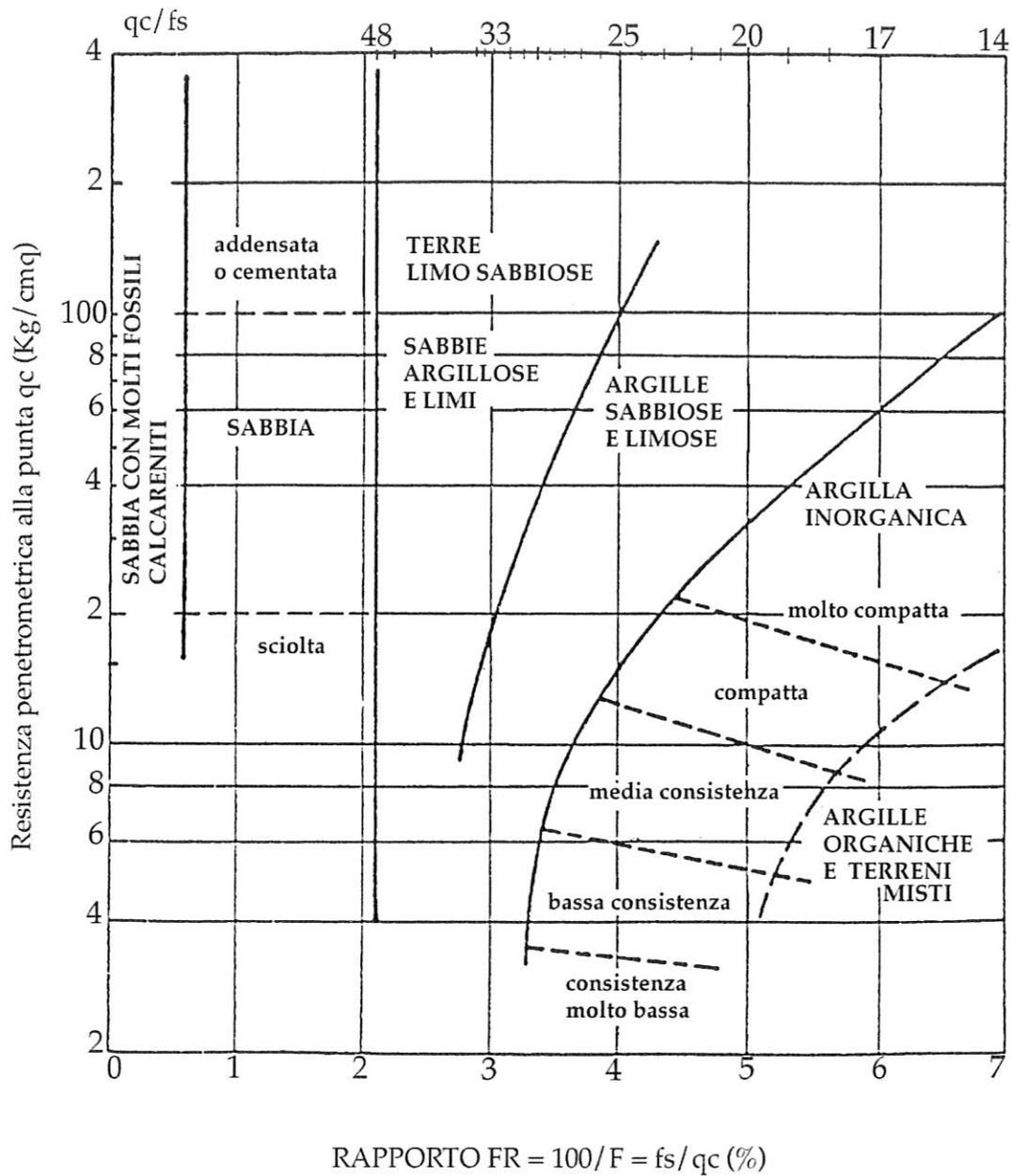
Geologo Mirko Sita

Via Leonardo da Vinci, 17 – 40069 Zola Predosa
Tel. 051-757378 Cell. 349-4515174
C.F. STIMRK74B15A944T – P.I. 02344551201

Classificazione orientativa dei terreni
(Schmertmann, 1978)

CLASSIFICAZIONE ORIENTATIVA DEI TERRENI IN BASE AI DATI
PENETROMETRICI STATICI q_c E f_s

(Schmertmann, 1978)



Real Station s.r.l.

via Coppi - Casalecchio di Reno (BO)

CPT 1

11138001

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m ³	Gamma' kg/m ³	Sigma'V kg/cm ²	CU kg/cm ²	FI	DR %	Mv cm ² /Kg	K _{oriz} Kg/cm ³	Perm cm/sec
0.20		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	0.037	0.000	45	100	0.008621	3.8667	1.79e-002
		Argilla sabbiosa e limosa	1982	1982	0.156	4.467	0	0	0.002239	5.9556	4.75e-004
0.80		Argilla sabbiosa e limosa	1972	1972	0.314	3.413	0	0	0.002930	4.5500	3.73e-006
1.60		Argilla molto compatta	1962	1962	0.588	2.571	0	0	0.003889	5.1429	1.19e-005
3.00		Argilla molto compatta	1950	1950	0.627	1.900	0	0	0.005263	3.8000	2.71e-005
3.20		Argilla molto compatta	1957	1957	0.667	2.250	0	0	0.004444	4.5000	4.00e-006
3.40		Argilla molto compatta	1947	1947	0.744	1.750	0	0	0.005714	3.5000	5.48e-006
3.80		Argilla sabbiosa e limosa	1962	1962	0.862	2.617	0	0	0.003822	3.4889	1.80e-004
4.40		Argilla sabbiosa e limosa	1971	1971	0.980	3.317	0	0	0.003015	4.4222	1.08e-005
5.00		Argilla sabbiosa e limosa	1976	1976	1.099	3.733	0	0	0.002679	4.9778	2.57e-004
5.60		Argilla sabbiosa e limosa	1981	1981	1.139	4.250	0	0	0.002353	5.6667	8.19e-004
5.80		Sabbia	1850	1850	1.176	0.000	36	65	0.006472	5.1500	4.90e-002
6.00		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	1.287	0.000	35	60	0.005338	6.2444	2.29e-003
6.60		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	1.324	0.000	35	64	0.004717	7.0667	9.28e-003
6.80		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	1.361	0.000	34	52	0.006579	5.0667	4.03e-003
7.00		Sabbia	1850	1850	1.398	0.000	35	65	0.006006	5.5500	1.51e-001
7.20		Sabbia	1850	1850	1.435	0.000	33	48	0.007246	4.6000	1.76e-002
7.40		Sabbia argillosa e limosa	1900	1900	1.473	0.000	37	77	0.004065	8.2000	2.78e-001
7.60		Sabbia densa o compatta	1850	1850	1.621	0.000	33	54	0.007597	4.3875	4.41e-002
8.40		Ghiaia	1850	1850	1.954	0.000	39	95	0.003147	15.8889	3.71e-001
10.20											

Real Station s.r.l.
via Coppi - Casalecchio di Reno (BO)
CPT 2

11138002

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma kg/m3	Sioma'V kg/cm2	CU kg/cm2	FI	DR %	Mv cm2/Kg	Koriz Kg/cm3	Perm cm/sec
0.20		Argilla molto compatta	1940	1940	0.039	1.450	0	0	0.007184	2.9000	2.00e-004
0.40		Argilla limosa	1944	1944	0.078	1.600	0	0	0.006250	3.2000	4.68e-004
		Argilla sabbiosa e limosa									
1.00		Argilla molto compatta	1960	1960	0.195	2.467	0	0	0.004054	3.2889	4.16e-004
1.80		Argilla molto compatta	1948	1948	0.351	1.788	0	0	0.005594	3.5750	1.09e-004
2.20		Argilla molto compatta	1957	1957	0.429	2.275	0	0	0.004396	4.5500	1.29e-005
2.60		Argilla molto compatta	1939	1939	0.507	1.400	0	0	0.007764	2.8000	6.96e-005
2.80		Limo argilloso	1945	1945	0.546	1.650	0	0	0.010101	2.2000	9.01e-003
3.20		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	0.620	0.000	35	48	0.011236	2.9667	1.64e-002
		Argilla compatta									
3.80		Argilla molto compatta	1934	1934	0.736	1.217	0	0	0.010628	2.4333	2.30e-004
4.60		Argilla molto compatta	1949	1949	0.892	1.813	0	0	0.005517	3.6250	4.40e-006
5.00		Argilla molto compatta	1957	1957	0.970	2.250	0	0	0.004444	4.5000	3.19e-006
		Argilla molto compatta									
5.80		Argilla molto compatta	1950	1950	1.126	1.863	0	0	0.005369	3.7250	4.96e-005
6.20		Argilla molto compatta	1938	1938	1.204	1.350	0	0	0.008418	2.7000	2.23e-004
6.40		Sabbia	1850	1850	1.241	0.000	31	31	0.017094	1.9500	4.52e-002
6.60		Sabbia	1850	1850	1.278	0.000	33	49	0.009804	3.4000	7.40e-002
		Ghiaia									
7.20		Ghiaia	1850	1850	1.389	0.000	41	100	0.002708	18.4667	3.93e-001

Real Station s.r.l.

via Coppi - Casalecchio di Reno (BO)

CPT 3

11138003

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m3	Gamma kg/m3	Sioma/V kg/cm2	CU kg/cm2	FI	DR %	Mv cm2/Kg	Koriz Kg/cm3	Perm cm/sec
0.20		Argilla sabbiosa e limosa	1974	1974	0.039	3.600	0	0	0.002778	4.8000	1.25e-003
0.40		Argilla sabbiosa e limosa	1958	1958	0.079	2.300	0	0	0.004348	3.0667	1.55e-004
0.60		Argilla sabbiosa e limosa	1980	1980	0.118	4.200	0	0	0.002381	5.6000	3.50e-004
1.00		Argilla sabbiosa e limosa	1968	1968	0.197	3.050	0	0	0.003279	4.0667	3.54e-004
1.20		Argilla molto compatta	1945	1945	0.236	1.650	0	0	0.006061	3.3000	2.77e-005
		Argilla molto compatta	1937	1937	0.430	1.330	0	0	0.008702	2.6600	1.83e-005
2.20		Argilla molto compatta	1943	1943	0.468	1.550	0	0	0.006452	3.1000	1.50e-004
2.40		Argilla molto compatta	1939	1939	0.507	1.400	0	0	0.007764	2.8000	2.44e-004
2.60		Argilla molto compatta	1924	1924	0.546	0.950	0	0	0.018797	1.9000	8.41e-006
2.80		Argilla molto compatta	1936	1936	0.701	1.300	0	0	0.009158	2.6000	7.35e-005
3.60		Argilla compatta	1920	1920	0.777	0.850	0	0	0.024510	1.7000	1.29e-004
4.00		Sabbia	1850	1850	0.814	0.000	33	41	0.015873	2.1000	5.64e-002
4.20		Argilla limosa	1938	1938	0.892	1.350	0	0	0.007407	2.7000	1.80e-003
4.60		Argilla compatta	1918	1918	1.007	0.800	0	0	0.028409	1.6000	8.53e-005
5.20		Argilla compatta	1933	1933	1.046	1.200	0	0	0.010965	2.4000	1.74e-004
5.40		Argilla molto compatta	1946	1946	1.279	1.708	0	0	0.005854	3.4167	1.04e-004
6.60		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	1.353	0.000	31	35	0.010753	3.1000	1.05e-002
7.00		Argilla molto compatta	1944	1944	1.586	1.592	0	0	0.006283	3.1833	3.23e-005
8.20		Argilla molto compatta	1936	1936	1.625	1.300	0	0	0.009158	2.6000	1.27e-004
8.40		Argilla molto compatta	1947	1947	1.664	1.750	0	0	0.005714	3.5000	1.96e-004
8.60		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	1.701	0.000	31	31	0.010638	3.1333	8.86e-003
8.80		Argilla molto compatta	1947	1947	1.857	1.738	0	0	0.005755	3.4750	2.38e-005
9.60		Sabbia	1850	1850	1.894	0.000	31	38	0.011111	3.0000	5.22e-002
9.80		Argilla sabbiosa e limosa	1956	1956	2.011	2.233	0	0	0.004478	2.9778	1.96e-003
10.40		Argilla molto compatta	1949	1949	2.050	1.850	0	0	0.005405	3.7000	1.01e-004
10.60		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	2.087	0.000	29	24	0.011628	2.8667	9.52e-003
10.80		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	2.198	0.000	31	36	0.008152	4.0889	5.23e-003
11.40		Sabbia	1850	1850	2.235	0.000	32	45	0.008130	4.1000	3.92e-002
11.60		Argilla sabbiosa e limosa	1965	1965	2.353	2.833	0	0	0.003529	3.7778	1.17e-003
12.20		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	2.390	0.000	29	26	0.010417	3.2000	1.21e-002
12.40		Argilla sabbiosa e limosa	1967	1967	2.469	2.975	0	0	0.003361	3.9667	2.50e-004
12.80		Sabbia	1850	1850	2.506	0.000	31	41	0.008658	3.8500	3.69e-002
13.00		Argilla sabbiosa e limosa	1966	1966	2.545	2.900	0	0	0.003448	3.8667	1.27e-005
13.20		Argilla sabbiosa e limosa	1958	1958	2.584	2.350	0	0	0.004255	3.1333	1.01e-004
13.40		Argilla sabbiosa e limosa	1969	1969	2.624	3.100	0	0	0.003226	4.1333	3.12e-005
13.60		Argilla molto compatta	1958	1958	2.663	2.350	0	0	0.004255	4.7000	1.64e-005
13.80		Argilla sabbiosa e limosa	1965	1965	2.742	2.775	0	0	0.003604	3.7000	1.07e-003
14.20		Sabbia	1850	1850	2.779	0.000	31	40	0.008439	3.9500	5.30e-002
14.40		Sabbia									

Real Station s.r.l.
via Coppi - Casalecchio di Reno (BO)
CPT 3

11138003

Prof mt	Strati	Tipologia	Gamma kg/m ³	Gamma' kg/m ³	Sioma'V kg/cm ²	CU kg/cm ²	FI %	DR %	Mv cm ² /Kg	K _{oriz} Kg/cm ³	Perm cm/sec
14.20			1965	1965	2.742	2.775	0	0	0.003604	3.7000	1.07e-003
14.40		Sabbia	1850	1850	2.779	0.000	31	40	0.008439	3.9500	5.30e-002
14.60		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	2.816	0.000	28	19	0.011364	2.9333	4.84e-003
14.80		Sabbia	1850	1850	2.853	0.000	30	32	0.010582	3.1500	3.53e-002
15.00		Sabbia	1850	1850	2.890	0.000	29	26	0.012346	2.7000	3.75e-002
15.20		Sabbia	1850	1850	2.927	0.000	30	36	0.009259	3.6000	5.38e-002
15.40		Sabbia	1850	1850	2.964	0.000	29	24	0.012821	2.6000	4.14e-002
15.60		Sabbia	1850	1850	3.001	0.000	31	44	0.007326	4.5500	4.75e-002
16.00		Sabbia	1850	1850	3.075	0.000	29	26	0.012012	2.7750	3.42e-002
		Argilla molto compatta									
16.60			1948	1948	3.191	1.783	0	0	0.005607	3.5667	1.60e-004
16.80		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	3.228	0.000	28	19	0.010638	3.1333	8.86e-003
17.00		Sabbia	1850	1850	3.265	0.000	29	24	0.012121	2.7500	3.98e-002
17.20		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	3.302	0.000	28	16	0.011628	2.8667	2.10e-002
		Sabbia									
17.80			1850	1850	3.413	0.000	28	24	0.012121	2.7500	3.52e-002
18.00		Sabbia argillosa e limosa	1850	1850	3.450	0.000	28	19	0.010417	3.2000	9.79e-003
18.20		Sabbia densa o compatta	1900	1900	3.488	0.000	32	56	0.004728	7.0500	2.10e-001
		Ghiaia									
18.80			1850	1850	3.599	0.000	34	68	0.004870	10.2667	3.07e-001
19.00		Sabbia densa o compatta	1900	1900	3.637	0.000	32	56	0.004662	7.1500	2.71e-001
		Argilla molto compatta									
20.00			1953	1953	3.833	2.060	0	0	0.004854	4.1200	3.16e-005

Verifica rischio di liquefazione

N. Certificato: 11138003

3 Committente : Real Station S.r.l. Località : Casalecchio di Reno (Via Coppi

C P T (cone penetration test)

